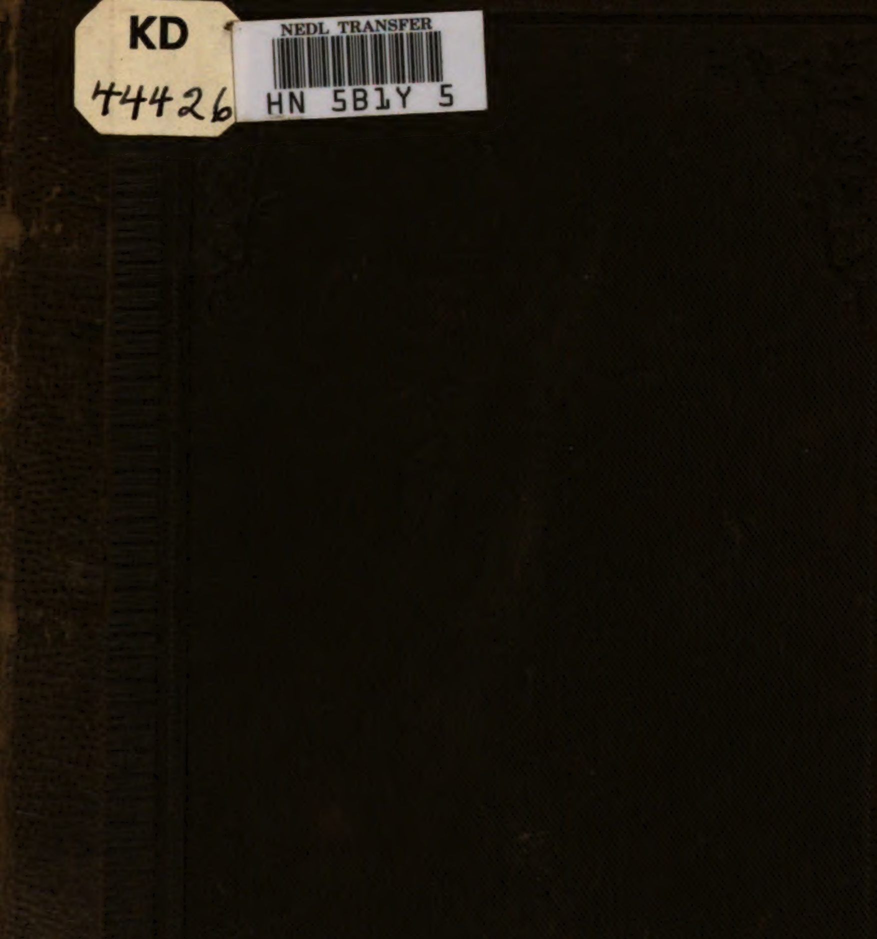

KD
44426
NEDL TRANSFER
HN 5B1Y 5





ИСТОРІЯ

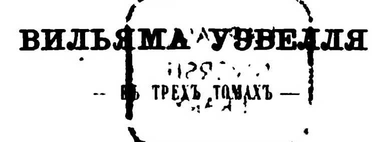
ИНДУКТИВНЫХЪ НАУКЪ.

ИСТОРІЯ

ИНДУКТИВНЫХЪ НАУКЪ

ОТЪ

ДРЕВНѢЙШАГО И ДО НАСТОЯЩАГО ВРЕМЕНИ



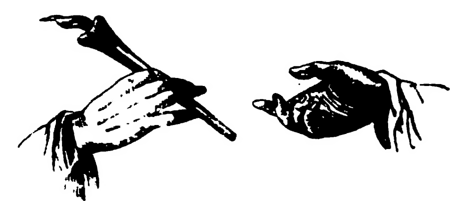
ВИЛЬЯМА УЭВЕЛЛЯ

— ВЪ ТРЕХЪ ТОМАХЪ —

Переводъ съ 3-го англійскаго изданія

М. А. Антоновича и А. Н. Пыпина.

(Съ біографическими приложеніями)



ΛΑΜΠΑΔΙΑ ΕΧΟΝΤΕΣ ΔΙΑΔΩΣΟΥΣΙΝ ΑΛΛΗΛΟΙΣ

Томъ II.



Изданіе

«РУССКОЙ КНИЖНОЙ ТОРГОВЛИ.»

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

1867.

Типографія и Литогр. Н. Тиблена и К°. (Н. Неклюдова).
Вас. Остр. 8 л., № 25.

Содержатель Типографіи Николай Андреяновичъ Неклюдовъ
жительство имѣетъ въ Малой Мѣщанской, д. № 1.

СОДЕРЖАНІЕ
ВТОРАГО ТОМА.

Стр.

КНИГА VI.

ИСТОРІЯ МЕХАНИКИ ТВЕРДЫХЪ И ЖИДКИХЪ ТѢЛЪ.

КНИГА VII.

МЕХАНИЧЕСКІЯ НАУКИ (продолженіе). ИСТОРІЯ ФИЗИЧЕСКОЙ АСТРОНОМІИ.

Стр.

КНИГА VIII.

ВТОРИЧНЫЯ МЕХАНИЧЕСКІЯ НАУКИ. ИСТОРІЯ АКУСТИКИ.

КНИГА IX.

ВТОРИЧНЫЯ МЕХАНИЧЕСКІЯ НАУКИ (продолженіе). ИСТОРІЯ ФОРМАЛЬНОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ.

ФОРМАЛЬНАЯ ОПТИКА.

Пояснительныя дополненія, составленныя Литтровомъ.

ФИЗИЧЕСКАЯ ОПТИКА.

КНИГА X.

ВТОРИЧНЫЯ МЕХАНИЧЕСКІЯ НАУКИ (продолженіе). ИСТОРІЯ ТЕРМОТИКИ И АТМОЛОГІИ.

СОБСТВЕННО ТЕРМОТИКА.

Глава I. — Ученія о проводимости и лучеиспусканіи теплоты.

Глава II.—Законы измѣненій, производимыхъ теплотой.

АТМОЛОГІЯ.

Глава Ш.—Отношеніе между парами и воздухомъ.

ПРИМѢЧАНІЯ ЛИТТРОВА.

ПРЕДИСЛОВІЕ КЪ РУССКОМУ ИЗДАНІЮ.

Заглавіе настоящаго сочиненія звучитъ какъ-то странно, по крайней мѣрѣ не привычно для русскаго уха; такъ что вѣроятно не всякій изъ русскихъ и даже иностранныхъ читателей сразу догадается, о чемъ идетъ дѣло въ такомъ сочиненіи и какія науки разумѣются подъ названіемъ «индуктивныхъ», исторія которыхъ излагается въ этомъ сочиненіи Уэвелля.

И дѣйствительно такое заглавіе не понятно, потому что оно не философично и не точно. Уэвелль называетъ «индуктивными» тѣ науки, которыя обыкновенно называются естественными, конечно на томъ основаніи, будтобы въ этихъ наукахъ употребляется исключительно методъ индукціи или наведенія, которымъ Англичане хвалятся какъ своимъ національнымъ открытіемъ, сдѣланнымъ будтобы ихъ знаменитымъ соотечественникомъ Бакономъ, котораго они превозносятъ за это безъ мѣры. Съ этой

точки зрѣнія Уэвелль естественныя науки, какъ индуктивныя, противополагаетъ математическимъ и философскимъ, какъ дедуктивнымъ. Такая классификація и характеристика наукъ признается въ настоящее время несостоятельною, точно также какъ и бывшее прежде въ модѣ и въ ходу дѣленіе наукъ на опытныя и умозрительныя. Индукція и дедукція, наведеніе и выведеніе, умозаключеніе отъ частнаго къ общему, отъ частей къ цѣлому, отъ множества фактовъ къ одному закону, отъ явленій къ причинѣ, и обратное умозаключеніе отъ общаго къ частному, выводъ частныхъ положеній изъ общаго принципа, объясненіе общимъ закономъ и причиною новыхъ еще не разработанныхъ аналитически явленій, — это такія пріемы мысли, которые нераздѣльны одинъ отъ другаго въ мышленіи, какъ сложеніе и вычитаніе нераздѣльны во всякомъ вычисленіи. Эти два различные метода,—если только дѣйствительно они различны до такой степени, какъ объ нихъ обыкновенно думаютъ, чтó очень сомнительно,—употребляются во всякой наукѣ, при всякомъ изслѣдованіи, можно даже сказать, участвуютъ совмѣстно во всякомъ сколько нибудь продолжительномъ актѣ мысли. Самый идеальный идеалистъ, при выработкѣ своихъ недостижимо отвлеченныхъ идей, руководится опытомъ, наблюденіями надъ общими фактами природы и явленіями человѣческой жизни или собственной мысли, и изъ нихъ выводитъ уже общія поло-

женія, т. е. дѣйствуетъ методомъ индуктивнымъ, аналитически, и только уже потомъ излагаетъ свои мысли дедуктивно, синтетически; точно также самый крайній эмпирикъ при разсмотрѣніи частныхъ фактовъ руководствуется общими принципами, къ каждому новому явленію подступаетъ уже съ готовымъ общимъ закономъ и дѣйствуетъ такимъ образомъ дедуктивно. Такъ что философію можно назвать до извѣстной степени индуктивной наукой,—и дѣйствительно были попытки построять философскія науки индуктивнымъ методомъ; а естественныя науки могутъ быть названы дедуктивными, потому что дѣйствительно многія открытія въ нихъ сдѣланы дедуктивно; дедуктивно же естественныя науки доказываютъ невозможность и ложность многихъ мнимыхъ открытій, фактовъ или положеній. Очевидно послѣ этого, что обозначеніе естественныхъ наукъ индуктивными въ высшей степени не точно и потому не ясно.— Поэтому болѣе философскій нѣмецъ, переводчикъ сочиненія Уэвелля на нѣмецкій языкъ, извѣстный астрономъ Литтровъ, безъ церемоніи измѣнилъ или, лучше сказать, поправилъ заглавіе этого сочиненія, поставивъ вмѣсто «Исторіи Индуктивныхъ Наукъ» просто и ясно «Исторія всѣхъ естественныхъ наукъ» (Geschichte aller Naturwissenschaften).

Можетъ быть Уэвелль съ намѣреніемъ далъ своему настоящему сочиненію не точное, но по звуку нѣсколько философическое заглавіе, съ

тѣмъ чтобы показать, что его сочиненіе излагаетъ не просто исторію естественныхъ наукъ, но еще дѣлаетъ изъ нея философскіе выводы. Дѣйствительно исторія Уэвелля имѣетъ философскія претензіи и задачи; по цѣли автора она должна была служить матеріаломъ и приготовленіемъ для тѣхъ положеній, которыя онъ изложилъ въ другомъ своемъ сочиненіи подъ заглавіемъ «Философія Индуктивныхъ Наукъ». Эта философія индуктивныхъ наукъ, насколько она обнаруживается въ настоящей Исторіи Индуктивныхъ Наукъ, очень бѣдна въ чисто философскомъ смыслѣ и не заслуживала бы названія «философіи» по нѣмецкой и вообще по континентальной фразеологіи; это просто нѣкоторая мораль, извлеченная изъ естественныхъ наукъ, и въ самомъ лучшемъ случаѣ—это логика индуктивныхъ наукъ. Излагая исторію открытій въ естественныхъ наукахъ, онъ указываетъ, какія условія были необходимы для этихъ открытій, какія умственныя и нравственныя качества должны были имѣть открыватели, какіе пріемы мысли они употребляли, по какимъ признакамъ можно отличить вѣроятную и основательную гипотезу отъ неосновательной. Это все такіе предметы, которые относятся собственно къ практической или прикладной части логики, которая теперь почти совсѣмъ исключена изъ области настоящей логики, какъ изъ области словесности изгоняются практическія правила о томъ, какъ должно сочинять тѣ или другія сло-

весныя произведенія.—Для примѣра мы приведемъ слѣдующее философское положеніе Уэвелля, которое онъ считаетъ драгоцѣннымъ выводомъ изъ своей исторіи и на которое онъ напираетъ особенно сильно и часто: для прогресса науки вообще, какъ и для всякаго частнаго открытія, нужны факты и идеи. Это положеніе прежде всего неясно; чтó такое идея, какъ противоположность факту или по крайней мѣрѣ какъ нѣчто независимое и отдѣльное отъ факта? Идея есть ни что иное какъ тотъ же фактъ или собраніе фактовъ, обобщенныхъ отвлеченіемъ; во всякомъ случаѣ идея происходитъ изъ фактовъ и не можетъ возникнуть сама собой изъ ничего. Конечно идеалисты утверждаютъ, что уму врождены идеи, что онѣ возникаютъ въ немъ сами собою, независимо отъ наблюденія внѣшнихъ фактовъ, и что умъ углубляясь въ свои эти идеи можетъ дѣлать такія же открытія, какъ и тѣ, которыя онъ дѣлаетъ, наблюдая чувственно внѣшнюю природу. Но такое воззрѣніе не прилично Уэвеллю, излагающему исторію индуктивныхъ наукъ, гдѣ обобщенія получаются изъ внѣшнихъ фактовъ и гдѣ нѣтъ мѣста никакимъ сверхъ-опытнымъ врожденнымъ идеямъ, какъ источникамъ знанія. Въ переводѣ на обыкновенный языкъ приведенное положеніе Уэвелля значитъ: чтобы сдѣлать какое-нибудь открытіе человѣкъ долженъ увидѣть что-нибудь, какой-нибудь фактъ и потомъ обдумать и осмыслить его, поставить въ связь съ идеями, образовав-

шимися изъ прежде замѣченныхъ фактовъ; — мысль совершенно вѣрная, но ужъ слишкомъ элементарная, азбучная и очевидна безъ всякой исторіи и философіи.—Впрочемъ Дж. Ст. Милль, вообще несогласный съ общимъ направленіемъ и философіей Уэвелля, придаетъ важное значеніе логической сторонѣ исторіи Уэвелля и говоритъ, что еслибы не было этой исторіи, то и въ его собственной логикѣ не было бы тѣхъ отдѣловъ, которые посвящены предметамъ логики, развиваемымъ въ исторіи Уэвелля. Но эта похвала есть вѣроятно на половину джентльменскій комплиментъ респектабельному противнику и относится навѣрное къ фактической части труда Уэвелля, которая дѣйствительно безконечно выше его философской стороны.

Но кромѣ этого логическаго элемента есть въ исторіи Уэвелля и настоящая философія, т. е. въ ней проводятся личныя воззрѣнія и идеи Уэвелля о предметахъ, не относящихся къ естественнымъ наукамъ, а составляющихъ достояніе чистой философіи или метафизики и существованіе которыхъ не подтверждается и не можетъ быть подтверждено ни однимъ изъ тѣхъ способовъ доказательства, которые употребляются въ естественныхъ наукахъ, во всѣхъ наукахъ вообще, исключая идеалистическую философію и метафизику, если только ихъ можно назвать науками.—Уэвелль вообще не глубокій и плохой философъ; такова же и его философія, проводимая въ исторіи индуктивныхъ наукъ.

Она состоитъ изъ устарѣлыхъ и избитыхъ идей англійскаго преданія, спиритуализма и супранатурализма, не находящихъ себѣ болѣе мѣста ни въ одной сколько-нибудь самостоятельной и сильной философской системѣ и удерживаемыхъ нѣкоторыми англійскими философами 2-го сорта вѣроятно во уваженіе къ ихъ почтенной, сѣдой старинѣ. Направленіе естественныхъ наукъ идетъ въ-разрѣзъ съ этой философіей и каждый шагъ въ прогрессѣ естествознанія разрушаетъ какую-нибудь изъ мнимыхъ опоръ этой философіи. Къ счастью, впрочемъ, исторія Уэвелля немного окрашена этой философіей. Въ наукахъ нейтральныхъ, не имѣющихъ болѣе или менѣе близкой связи съ метафизическими вопросами, онъ очень строгъ и неуклоненъ въ научномъ отношеніи; онъ излагаетъ ихъ, какъ говорится, объективно. Такова напр. механика, астрономія, физика, химія, минералогія и ботаника. При изложеніи исторіи этихъ наукъ Уэвелль ограничивается только чисто научной фактической стороной, не касается никакихъ теорій и философскихъ воззрѣній, которыя не утверждаются непосредственно на научныхъ основаніяхъ; онъ здѣсь до такой степени осторожень, дотого свободенъ отъ своихъ любимыхъ философскихъ идей, что изъ первыхъ двухъ томовъ его сочиненія, излагающихъ исторію перечисленныхъ выше наукъ, нельзя узнать, каковъ у него философскій образъ мыслей и къ какой философской школѣ онъ принадлежитъ; хотя опытный читатель, знако-

мый съ философіей, уже изъ 1-го тома, по особенному пристрастію Уэвелля къ идеалисту Платону и особенному нерасположенію къ натуралисту Аристотелю, можетъ уже догадаться, на какую сторону склоняется философія Уэвелля. Въ 3-мъ томѣ это уже становится очевидно яснымъ; во второй половинѣ его, гдѣ излагается исторія органическихъ наукъ, занимающихся жизнью животныхъ и человѣка, онъ уже не могъ скрыть своихъ философскихъ тенденцій; онѣ невольно и сами собой прорвались у него наружу; и онъ излагаетъ уже нѣкоторые факты науки такъ, чтобы они бросали наивозможно благопріятнѣйшій свѣтъ на его собственныя философскія убѣжденія. И за это нельзя винить его; потому что это дѣло естественное, законное и понятное; съ формальной стороны оно даже похвально, какъ разумное и основательное желаніе проводить философскія убѣжденія посредствомъ естественныхъ наукъ, такъ что при этомъ должно осуждать не самый этотъ способъ проведенія убѣжденій, а только содержаніе этихъ убѣжденій, если оно дѣйствительно заслуживаетъ осужденія.

Всякій мыслящій естествоиспытатель, какъ и вообще всякій мыслящій человѣкъ, непремѣнно старается составить, если не для сообщенія другимъ, то по крайней мѣрѣ для себя, для своего домашняго обихода и употребленія, — цѣльную, законченную систему убѣжденій и воззрѣній на міръ и жизнь, и потому для избѣжанія пробѣ-

ловъ и разрывовъ въ своей системѣ по необходимости принимаетъ и такія воззрѣнія, которыя непосредственно не подтверждаются точными научными фактами, хотя не противорѣчатъ имъ и въ общемъ согласны съ ними, рѣшаетъ и такіе отвлеченные вопросы, для рѣшенія которыхъ нѣтъ прямыхъ научныхъ данныхъ. Есть философскіе общіе вопросы до такой степени настоятельные, до такой степени неотвязчиво преслѣдующіе умъ и напрашивающіеся на рѣшеніе, что ихъ никакъ нельзя устранить, задушить или отложить рѣшеніе ихъ до будущаго времени и до дальнѣйшаго разъясненія дѣла, какъ это дѣлается съ обыкновенными, частными научными вопросами; и не всякій можетъ, подобно юношѣ въ извѣстномъ стихотвореніи Гейне, тоскливо и съ сомнѣньемъ стоять у моря и ждать отвѣтовъ на эти вопросы отъ волнъ. Имѣя такимъ образомъ готовую философскую систему, естествоиспытатель неизбѣжно и даже можетъ быть незамѣтно для самого себя подходитъ уже съ нею къ возникающимъ научнымъ вопросамъ, имѣющимъ хоть нѣкоторую отдаленную связь съ философскими предметами; и въ такихъ случаяхъ онъ принимаетъ извѣстное научное положеніе не только потому, что оно кажется ему основательнымъ въ научномъ отношеніи, но можетъ быть еще болѣе потому, что оно благопріятствуетъ его философской системѣ и болѣе гармонируетъ съ его любимыми, задушевными общими идеями, чѣмъ противополож-

ное положеніе. Оттого-то вѣроятно и происходитъ, что самые ожесточенные и горячіе споры ведутся преимущественно изъ-за тѣхъ научныхъ вопросовъ, которые имѣютъ философское значеніе и связь съ общими философскими вопросами; въ этихъ спорахъ каждый естествоиспытатель отстаиваетъ и защищаетъ не только свое отдѣльное научное положеніе, но вмѣстѣ съ нимъ свою общую систему воззрѣній, свою философію. Возьмемъ напр. вопросъ о единствѣ плана или типа въ организаціи животныхъ, о происхожденіи и измѣняемости животныхъ видовъ,—вопросъ повидимому самый нейтральный и безъ всякихъ заднихъ философскихъ приставокъ. Однако на дѣлѣ онъ самымъ тѣснымъ образомъ связанъ съ философскими вопросами, оказывающими болѣе или менѣе сильное вліяніе на его разрѣшеніе. Естествоиспытатели, принадлежащіе къ натуральной философской школѣ, стоятъ за единство типа и измѣняемость видовъ; эти положенія конечно кажутся имъ болѣе основательными и съ научной точки зрѣнія, но они дороги имъ еще болѣе потому, что при этихъ положеніяхъ становится хоть до нѣкоторой степени понятнымъ и объяснимымъ происхожденіе животныхъ вообще и появленіе новыхъ видовъ. На основаніи единства плана и измѣняемости можно построить хоть до нѣкоторой степени вѣроятную гипотезу о естественномъ возникновеніи, путемъ естественнаго и обыкновеннаго развитія природы, животной жизни и о безко-

нечномъ ея разнообразіи, не прибѣгая ни къ какимъ необыкновеннымъ и экстраординарнымъ агентамъ и силамъ и не останавливаясь предъ этими вопросами съ мучительнымъ и нестерпимымъ сознаніемъ умственнаго безсилія. Единство плана во всемъ животномъ царствѣ можетъ указывать на единство его происхожденія, на одинъ общій корень и родоначало; а при одномъ корнѣ хоть нѣсколько сокращается для насъ громадная бездна, отдѣляющая животное отъ растенія, и мы можемъ хоть гипотетически наполнить ее какимъ-нибудь зоофитическимъ переходомъ, не выдавая этого, конечно, за доказанную научную истину. При измѣняемости же видовъ возникновеніе изъ одного корня множества разнообразныхъ видовъ уже не представляетъ при объясненіи значительныхъ затрудненій. Но естествоиспытателямъ, придерживающимся въ философіи супранатуралистическихъ взглядовъ, это-то именно и не нравится, что ученіе о единствѣ плана и измѣняемости видовъ облегчаетъ для натуралистической философіи рѣшеніе указанныхъ общихъ философскихъ вопросовъ; имъ по ихъ философскимъ тенденціямъ напротивъ хотѣлось бы, чтобы эти вопросы оставались сколько возможно трудными, недосягаемыми и окутанными таинственностью и непроницаемостью. Они отвергаютъ единство плана и измѣняемость видовъ и на томъ между прочимъ основаніи, чтобы какъ вообще возникновеніе жизни, такъ въ частности и возникновеніе

новыхъ видовъ въ различные геологическіе періоды казались событіями необыкновенными, выходящими изъ естественнаго уровня теченія и развитія природы и требующими для своего объясненія какихъ-нибудь особенныхъ агентовъ, отличныхъ отъ всего существующаго въ природѣ, недоступныхъ наукѣ и обыкновеннымъ способамъ воспріятія, чтобы такимъ образомъ наука стала въ тупикъ и остановилась въ благоговѣніи предъ этими явленіями и отказалась отъ попытокъ и надеждъ проникнуть въ нихъ своими способами и путями, чтобы умъ уменьшилъ свою гордость, оставилъ вѣру въ свою всемогущую, всепроникающую силу и, ужъ если хочетъ, то искалъ бы объясненія этихъ явленій въ другомъ мѣстѣ, помимо своей науки. Такимъ образомъ ученіе о множествѣ плановъ и неизмѣняемости видовъ имѣетъ для такихъ философовъ двойную цѣну, и само по себѣ и какъ поддержка для ихъ философскихъ воззрѣній.

Такимъ же образомъ относится и Уэвелль къ этимъ и подобнымъ научнымъ вопросамъ въ біологическихъ наукахъ, исторія которыхъ излагается у него во второй половинѣ 3-го тома. По указаннымъ выше основаніямъ онъ принимаетъ ученіе о многихъ планахъ и неизмѣняемости видовъ, старается выставить это ученіе достовѣрнѣйшимъ выводомъ науки и сильно расхваливаетъ естествоиспытателей, раздѣлявшихъ это ученіе, насчетъ тѣхъ, которые отвергали его и держались противоположныхъ мнѣній.

Такъ же онъ поступилъ и въ вопросѣ о томъ, могутъ ли внѣшнія обстоятельства видоизмѣнить образъ жизни и организацію животнаго. И это вопросъ повидимому самый невинный въ философскомъ отношеніи; однако и за нимъ скрывается цѣлая философская система. Естествоиспытатели съ супранатуралистическимъ философскимъ образомъ мыслей сильно напираютъ на то, что организмъ каждаго животнаго самымъ точнымъ образомъ и удивительно приспособленъ къ тому образу жизни, какой оно ведетъ и къ той обстановкѣ, среди которой оно живетъ. Замѣчая повсюду такую приспособительность, какъ въ высшихъ, такъ и въ низшихъ животныхъ, и притомъ въ каждой части ихъ организма, они указываютъ на нее какъ на доказательство ихъ мнѣнія о предварительной цѣлесообразности или о такъ-называемыхъ конечныхъ причинахъ, по которому предполагается, что прежде фактическаго существованія животныхъ уже существовалъ въ природѣ, въ идеѣ, планъ или проектъ ихъ; въ немъ было предназначено каждому животному свое мѣсто и извѣстный образъ жизни, и сообразно этому назначенію было напередъ разсчитано извѣстное устройство его организму. Этотъ планъ затѣмъ приведенъ въ исполненіе; отъ этого-то и произошла цѣлесообразность въ устройствѣ всѣхъ животныхъ организмовъ. Естествоиспытатели съ противоположнымъ, натуралистическимъ образомъ мыслей утверждаютъ, что организмы животныхъ

развивались и развиваются подъ вліяніемъ внѣшнихъ обстоятельствъ и условій своего существованія и что они поэтому естественно и неизбѣжно сами собою приспособлялись къ этимъ условіямъ; такъ что приспособленность, о которой говорятъ указанные выше естествоиспытатели, есть дѣйствительно цѣлесообразность, но не предварительная или предупредительная, а послѣдовательная; т. е. внѣшнія условія и обстановка, дѣйствуя на внутреннія условія организма, сами создали указанную приспособленность: заяцъ имѣетъ быстрыя ноги не потому, что ему предназначено быстро бѣгать, напротивъ, онъ бѣгаетъ быстро именно потому, что у него быстрыя ноги; внѣшняя необходимость заставляла его бѣгать какъ можно быстрѣе; отъ такого упражненія развивались его ноги, и по мѣрѣ того, какъ онѣ больше и больше развивались, онъ бѣгалъ все быстрѣе и быстрѣе. Такимъ образомъ ученіе о цѣлесообразности или о конечныхъ причинахъ лишается своей опоры; цѣлесообразность животныхъ объясняется болѣе простымъ и естественнымъ образомъ. Поэтому Уэвелль, приверженецъ супранатуралистической философіи и конечныхъ причинъ, такъ сильно возстаетъ противъ ученія о способности организма приспособляться къ даннымъ условіямъ мѣста, образа жизни и обстановки; оно такъ опасно для его философіи. Онъ конечно не отрицаетъ очевидныхъ фактовъ приспособленія, но настаиваетъ на томъ, что

оно возможно до извѣстной, очень ограниченной степени и не можетъ объяснить всѣхъ явленій цѣлесообразности и указаній на конечныя причины.—Не нужно впрочемъ представлять себѣ, будтобы Уэвелль въ указанныхъ случаяхъ дѣйствуетъ неискренно или недобросовѣстно, съ умысломъ извращаетъ враждебные ему факты, или вовсе умалчиваетъ объ нихъ; нѣтъ, до этого не доходитъ его пристрастіе. Онъ дѣйствуетъ совершенно искренно; ему по чистой совѣсти кажутся основательнѣйшими научныя положенія, согласныя съ его философіей; онъ вѣрно излагаетъ факты, но только объясняетъ ихъ въ угоду своимъ воззрѣніямъ, и для этого ослабляетъ силу однихъ фактовъ и преувеличиваетъ силу другихъ,—въ чемъ кажется повинны всѣ смертные, даже самые безпристрастные. Этихъ-то объясненій и долженъ остерегаться читатель, желающій составить самостоятельныя убѣжденія; онъ можетъ довѣрчиво принимать факты, сообщаемые Уэвеллемъ, но не долженъ довѣряться его объясненіямъ, особенно философскимъ, долженъ постоянно предполагать, что объясненія, отвергаемыя Уэвеллемъ, могутъ быть вѣрнѣе,—что дѣйствительно и есть во многихъ случаяхъ; потому чтó, какъ уже сказано, философія Уэвелля не гармонируетъ съ направленіемъ естествознанія, держится принциповъ, замедлявшихъ ходъ естественныхъ наукъ и уже очень основательно опровергнутыхъ и естествознаніемъ и здравой философіей.

Но, какъ уже сказано выше, философскій элементъ занимаетъ не много мѣста въ сочиненіи Уэвелля; главное его содержаніе и главное достоинство составляетъ фактическое изложеніе исторіи индуктивныхъ или естественныхъ наукъ.

Извѣстно, что наилучшій способъ изученія всякаго предмета есть историческій способъ, изученіе исторіи этого предмета. Это справедливо какъ относительно индивидуумовъ, націй, государствъ, такъ, еще болѣе, относительно науки. Только зная исторію науки, по крайней мѣрѣ послѣднихъ періодовъ ея, можно узнать духъ науки и глубоко проникнуть въ ея сущность. Только изъ исторіи науки мы можемъ понять настоящій существенный смыслъ каждаго научнаго положенія, всю его важность, относительное значеніе и соподчиненность его частей. При обыкновенномъ догматическомъ изложеніи какой-нибудь естественной науки, когда намъ въ извлеченіи и короткихъ формулахъ представляютъ вѣковые результаты науки, мы конечно тоже обнимаемъ мыслью и понимаемъ общій смыслъ каждаго положенія ея; но при этомъ легко можетъ случиться, что мы извѣстной части положенія придадимъ большую и первостепенную важность, которая на дѣлѣ принадлежитъ другой части, на нѣкоторую часть можемъ взглянуть какъ на несущественную, а на иную и совсѣмъ не обратимъ должнаго вниманія, вообразивъ, что она поставлена просто только для литературнаго округленія и полноты положенія. Одно

и то же положеніе и предложеніе можетъ имѣть нѣсколько такъ называемыхъ логическихъ ударенiй; и ставя это удареніе на различныхъ словахъ предложенія, мы если и несущественно измѣняемъ, то до нѣкоторой степени видоизмѣняемъ и различнымъ образомъ оттѣняемъ смыслъ предложенія. Исторія науки и учитъ насъ, на какой части научныхъ положеній мы должны ставить логическія ударенія; она показываетъ, что каждая часть его имѣетъ свой смыслъ, что всякое слово въ немъ имѣетъ свою цѣль, поставлено для того, чтобы устранить извѣстныя недоразумѣнія или ложныя представленія, существовавшія прежде относительно этого положенія.—Возьмемъ для примѣра извѣстный элементарный законъ механики, гласящій, что всякое тѣло, разъ приведенное въ движеніе, должно двигаться вѣчно, прямолинейно и съ равномѣрною скоростью, т. е. не замедляясь и не ускоряясь, если на него не подѣйствуетъ какая-нибудь другая сила. Людямъ съ теоретическимъ и философскимъ складомъ ума, приступающимъ къ изученію механики, этотъ законъ можетъ показаться ужъ слишкомъ очевиднымъ, тривіальнымъ, простымъ теоретическимъ обобщеніемъ здраваго смысла, не заслуживающимъ названія научной истины и недостойнымъ занимать мѣсто въ наукѣ. Имъ можетъ показаться, что этотъ законъ не есть научное открытіе, полученное и доказанное опытнымъ путемъ, а есть очевидная мысль, такъ сказать врожденная

уму, и потому они могутъ поставить его на ряду съ тѣми положеніями, что ничто не дѣлается само собой, что изъ ничего и не бываетъ ничего, что нѣтъ дѣйствія безъ причины и проч. и воображать, что оно стоитъ въ наукѣ для проформы, для полноты, чтобы начать трактатъ о движеніи какимъ-нибудь общимъ положеніемъ. Только исторія этого закона можетъ раскрыть передъ этими умами всю его громадную важность, только она можетъ показать имъ, что онъ не есть тривіальное положеніе и очевидное теоретическое обобщеніе, а есть истина, добытая опытнымъ путемъ, стоившая уму многихъ усилій, требовавшая глубокой наблюдательности и выдержавшая не малую борьбу съ сомнѣніемъ и невѣріемъ; исторія же покажетъ имъ, какое вліяніе имѣлъ и какой совершенный переворотъ произвелъ этотъ законъ не только въ механикѣ и физикѣ, но и въ астрономіи и во всемъ міровоззрѣніи людей, и какъ даже такіе умы, какъ Кеплеръ и Декартъ, не могли дойти до здравыхъ астрономическихъ теорій потому, что не знали или не понимали всей силы этого закона.—Напротивъ умамъ непосредственнымъ, практическимъ этотъ законъ можетъ показаться невѣроятнымъ, или по крайней-мѣрѣ преувеличеннымъ; имъ можетъ представиться, что слово всякое или вѣчно суть просто фразы, реторическія преувеличенія, въ родѣ того какъ мы обыкновенно говоримъ, безчисленное множество, несмѣтное коли-

чество, безконечная вереница и проч. Исторія поможетъ и этимъ умамъ въ пониманіи истинной силы и истинныхъ границъ этого закона.— Здѣсь взяты конечно крайности; можетъ быть большинство умовъ и при догматическомъ изложеніи сразу ясно понимаетъ все значеніе указаннаго закона; но во всякомъ случаѣ можно навѣрное обѣщать, что даже тотъ, кто считаетъ себя ясно понимающимъ этотъ законъ, извлечетъ изъ исторіи его что-нибудь новое для себя, найдетъ въ немъ какой-нибудь прежде незамѣченный оттѣнокъ и сознается, что онъ смотрѣлъ на многія явленія, къ которымъ примѣняется этотъ законъ, не вспоминая объ немъ и не задавая себѣ вопросовъ, которые невольно должны вызываться сущностью этого закона. Тоже самое можно сказать и относительно другихъ законовъ и положеній науки.

Иногда говорится, что человѣчество доходитъ до истины не прямымъ кратчайшимъ путемъ, а окольными и длинными дорогами заблужденій; такъ что исторія науки есть ни что иное, какъ разсказъ о блужданіяхъ человѣческой мысли по этимъ дорогамъ, какъ перечень заблужденій, ошибокъ, ложныхъ понятій. Если даже это и правда, то вѣдь и заблужденіе можетъ быть поучительнымъ и знаніе ошибокъ можетъ быть полезнымъ. Истина очень уясняется противоположеніями, т. е. если мы знаемъ не только то, какъ должно думать объ извѣстномъ предметѣ, но и то, какъ не должно объ немъ думать.

При знаніи истины и того мѣста, гдѣ она находится, очень не мѣшаетъ знать и тѣ мѣста, гдѣ ее искали и не нашли, чтобы напрасно не блуждать по этимъ мѣстамъ. Относительно многихъ научныхъ фактовъ и положеній каждому могутъ придти въ голову соображенія повидимому естественныя и сообразныя съ дѣломъ, а въ сущности не вѣрныя; и можетъ случиться, что въ наукѣ они уже высказывались и отвергнуты ею и знаніе исторіи ея могло бы предохранить насъ отъ подобныхъ ошибочныхъ толкованій.—Но указанное мнѣніе, будто исторія науки есть разсказъ только объ ошибкахъ и заблужденіяхъ, односторонне и не вѣрно. Тотъ путь, которымъ человѣчество дошло до извѣстной истины, и есть самый естественный путь, и изучающій научную истину пойметъ ее наилучшимъ и естественнѣйшимъ образомъ, если самъ въ нѣсколько часовъ пройдетъ тотъ путь, который наука проходила въ цѣлое столѣтіе. Научныя истины раскрываются и развиваются постепенно; каждое новое поколѣніе прибавляетъ что-нибудь къ полученному наслѣдству и передаетъ все послѣдующимъ поколѣніямъ. Прежнія научныя теоріи и положенія не пропадаютъ даромъ и не уничтожаются безслѣдно, онѣ служатъ ступенями и переходами, ведущими къ дальнѣйшимъ новымъ; онѣ видоизмѣняются, дополняются, исправляются и обобщаются, или же входятъ какъ составная часть въ дальнѣйшія, болѣе обширныя обобщенія науки; это зароды-

ши и пища, изъ которыхъ развилось тѣло современной науки. Теоріи и факты, совершенно ложные и не оставившіе послѣ себя никакихъ слѣдовъ въ наукѣ, и не должны имѣть мѣста въ исторіи ея, если только они при всей ложности не послужили какимъ-нибудь указаніемъ или отрицательнымъ намекомъ на истину. Такимъ образомъ гораздо справедливѣе будетъ сказать, что исторія науки есть ни что иное какъ разсказъ о накопленіи научныхъ фактовъ, о напластованіи научныхъ истинъ, повѣствованіе о томъ, какими средствами и въ какомъ порядкѣ пріобрѣтались умственныя богатства человѣчества; исторія науки есть самая наука; она есть историческое и хронологическое собраніе истинъ, систематическій сводъ и кодексъ которыхъ составляетъ науку. Кто знаетъ исторію науки, тотъ знаетъ и самую науку и кромѣ того имѣетъ на своей сторонѣ еще то преимущество, какого нѣтъ у человѣка, изучившаго науку только въ ея систематическомъ и догматическомъ изложеніи, онъ знаетъ еще историческое развитіе истинъ, весьма важное для ихъ пониманія. Онъ знаетъ не только факты и теоріи, но и ихъ поводы и мотивы; знаетъ, чѣмъ вызвано извѣстное положеніе, каковъ былъ его первоначальный видъ, какіе факты въ первый разъ навели на него, какъ оно боролось съ прежними положеніями, гдѣ была его слабая сторона, гдѣ заключалась его сила и чѣмъ оно главнымъ образомъ побѣдило. А при знаніи всѣхъ этихъ и дру-

гихъ подобныхъ обстоятельствъ получается такое многостороннее и всеобъемлющее познаніе о предметѣ, какого трудно достигнуть какимъ-нибудь другимъ путемъ помимо историческаго. Какъ ни точны и ясны законы въ положительныхъ законодательствахъ, однако юристамъ нерѣдко приходится прибѣгать для уразумѣнія всей силы и сущности извѣстнаго закона къ его исторіи и къ мотивамъ и цѣлямъ, вызвавшимъ его; этотъ же пріемъ еще въ большей мѣрѣ примѣняется къ научнымъ законамъ. Это до такой степени справедливо, что даже въ систематическихъ учебникахъ, излагающихъ только результаты и выводы науки, допускается историческій элементъ; при изложеніи новѣйшихъ теорій для лучшаго выясненія дѣла излагаются хоть кратко прежнія теоріи. Глава объ электричествѣ почти во всѣхъ учебникахъ начинается съ янтаря Ѳалеса, трактатъ о гальванизмѣ начинается разсказомъ о лягушкѣ Гальвани и опытахъ Вольты; при изложеніи теоріи горѣнія припоминается флогистическая теорія Сталя; унитарная химическая теорія всегда непремѣнно сопровождается, при изложеніи, дуалистической теоріей и т. д.—Словомъ сказать, важность исторіи науки такъ многообразна, что трудно перечислить всѣ стороны ея, какими она можетъ содѣйствовать болѣе глубокому усвоенію научныхъ истинъ, и невозможно указать ни одной стороны, которою она могла бы показаться излишней.

Было бы совершенно излишне прибавлять

къ этому, что исторія каждой науки сама по себѣ, помимо всякаго вспомогательнаго значенія ея для систематической науки, представляетъ положительный интересъ, не меньшій, если даже не большій, чѣмъ тотъ, который представляютъ исторіи войнъ, государствъ, гражданскаго развитія и проч. Исторія наукъ, особенно естественныхъ, занимается однимъ изъ главныхъ агентовъ, производящихъ и направляющихъ прогрессъ человѣчества.

Важность исторіи всякой науки и важность, какую имѣютъ въ настоящее время естественныя науки, достаточно показываютъ все значеніе такихъ сочиненій, какъ «Исторія Индуктивныхъ Наукъ» Уэвелля. Къ сожалѣнію, это единственное въ своемъ родѣ сочиненіе во всѣхъ европейскихъ литературахъ. Есть исторіи отдѣльныхъ естественныхъ наукъ, астрономіи, разныхъ отдѣловъ физики, химіи, ботаники; но составить всеобщую исторію естественныхъ наукъ не пытался доселѣ никто, кромѣ Уэвелля, хотя многосторонняя польза этихъ исторій и успѣхъ первой попытки Уэвелля должны были повидимому многихъ побуждать къ подобнымъ трудамъ. Космосъ Гумбольдта былъ подобной попыткой только въ другомъ родѣ; онъ хотѣлъ кодифицировать и свести въ одно цѣлое всѣ естественныя науки, а Уэвелль сводитъ вмѣстѣ исторію всѣхъ этихъ наукъ. Есть впрочемъ на русскомъ языкѣ сочиненіе, задуманное еще въ болѣе обширныхъ размѣрахъ по предметамъ и содержанію, чѣмъ ис-

торія Уэвелля; это «Очеркъ исторіи физико-математическихъ наукъ» почтеннаго Петра Лавровича Лаврова. Но въ настоящее время вышло въ свѣтъ только еще начало его, обнимающее первый періодъ разсматриваемыхъ тамъ наукъ, оканчивающійся Аристотелемъ.

Исторія Уэвелля популярна, но популярна въ строго научномъ смыслѣ, а не такъ, какъ пріучили насъ понимать популярность многочисленные переводы разныхъ иностранныхъ популярныхъ книгъ по естествознанію, въ которыхъ большею частью излагается только поэзія ихъ предметовъ и которыя имѣютъ цѣлью затронуть простое поверхностное любопытство, поразить воображеніе и увлечь фантазію и для этого выбираютъ факты болѣе поразительные, стараются придать всему особый эффектный колоритъ и заманчивость, часто съ ущербомъ для научной точности. Въ этихъ книгахъ описываются все чудеса природы: чудеса подземнаго міра, чудеса звѣзднаго міра, чудеса растительнаго міра и проч. и описываются притомъ чудесно, картинно и поэтически. Сочиненіе Уэвелля не таково. Онъ выбираетъ для изложенія не чудесные или эффектные факты изъ исторіи естественныхъ наукъ, а факты существенные, имѣющіе простой научный интересъ. Онъ даже устранилъ изъ своей исторіи біографіи замѣчательныхъ ученыхъ, обогащавшихъ науку открытіями, такъ что нѣмецкій переводчикъ долженъ былъ отъ себя вставлять эти біографіи

для удовлетворенія естественному и вполнѣ законному любопытству, желающему знать всю судьбу жизни тѣхъ, объ ученыхъ заслугахъ которыхъ разсказываетъ исторія науки; нѣкоторыя изъ этихъ біографій войдутъ и въ русское изданіе. Вообще сочиненіе Уэвелля не имѣетъ внѣшней занимательности и отличается строгою серьезностью. Оно популярно, т. е. излагаетъ предметъ ясно, просто, общедоступно и не походитъ на ученый трактатъ, доступный только спеціалистамъ; но съ другой стороны оно для ясности не жертвуетъ научною точностью и не заключаетъ въ себѣ элементарныхъ свѣдѣній, такъ что при чтеніи его уже необходимо имѣть эти свѣдѣнія. Чтобы понимать эту исторію, нужно знать по каждой наукѣ тѣ факты и понятія, которыя обыкновенно излагаются въ элементарныхъ краткихъ учебникахъ. А кто уже имѣетъ эти предварительныя свѣдѣнія, тотъ вынесетъ изъ исторіи Уэвелля значительное расширеніе и разъясненіе своихъ понятій о предметахъ естествознанія и вполнѣ оцѣнитъ весь интересъ и важность этого сочиненія.

Самое главное достоинство исторіи Уэвелля состоитъ въ томъ, что въ ней очень разумно и чрезвычайно искусно подобраны, сгруппированы и распредѣлены факты исторіи естественныхъ наукъ; вслѣдствіе чего и произошло то, повидимому невѣроятное обстоятельство, что въ трехъ небольшихъ томахъ могла умѣститься довольно полная исторія всѣхъ естественныхъ наукъ. Ав-

торъ не потерялся въ громадномъ количествѣ матеріала, который представляла исторія каждой естественной науки; онъ привелъ его въ систему и порядокъ, основанный на относительной важности фактовъ. Въ исторіи каждой науки онъ выбралъ прежде всего самые крупные, выдающіеся и главные факты или теоріи, составлявшіе эпохи въ наукѣ и быстро и значительно подвигавшіе ее впередъ; они очерчены у него ярко и рѣзко и изложены съ нѣкоторою подробностью и обстоятельностью. Вокругъ нихъ какъ вокругъ центровъ сгруппированы всѣ другіе факты и подробности и притомъ въ строгомъ соподчиненіи съ главнымъ пунктомъ; они представлены въ томъ видѣ и настолько, въ какомъ и насколько они имѣютъ соотношеніе съ нимъ. Факты до открытія центральнаго пункта изложены подъ руководствомъ той направляющей нити, что они служили приготовленіемъ или прелюдіей къ открытію его, а факты послѣ открытія представлены какъ слѣдствія, вытекавшія изъ него. Такимъ образомъ читатель получаетъ возможность вдругъ однимъ взглядомъ обнять исторію каждой науки и самую науку; такъ какъ она въ искусной картинѣ Уэвелля представляется какъ рядъ нѣсколькихъ немногихъ эпохъ, для которыхъ предъидущая исторія служила введеніемъ и собирательницею приготовительныхъ матеріаловъ, а послѣдующая—выводомъ изъ нихъ, подтвержденіемъ, разъясненіемъ и дополненіемъ фактовъ и положеній, со-

ставлявшихъ эпоху. И это сдѣлано относительно всѣхъ естественныхъ наукъ. Вслѣдствіе этого исторія Уэвелля есть краткая, сжатая по объему, но не упустившая ничего существеннаго и важнаго энциклопедія естественныхъ наукъ. Правда нѣкоторыя науки изложены въ ней сравнительно короче и отрывочнѣе; но и въ этихъ случаяхъ Уэвелль выбралъ для изложенія самые существенные пункты, которые характеристичны какъ для исторіи науки, такъ и для самой науки.

Но въ исторіи Уэвелля кромѣ историческаго элемента есть еще критическій; кромѣ прошедшаго науки онъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ касается и ея будущаго. При изложеніи новѣйшихъ современныхъ теорій и положеній онъ разбираетъ ихъ критически и показываетъ, что̀ въ нихъ утверждено окончательно и можетъ считаться неотъемлемымъ достояніемъ науки и что̀ въ нихъ есть гипотетическаго и что̀ относительно ихъ наукѣ еще остается сдѣлать въ будущемъ. Это весьма важно; потому что въ учебникахъ и вообще при догматическомъ изложеніи послѣднія положенія и теоріи науки представляются вполнѣ установившимися на прочныхъ основаніяхъ, особенно еще если излагаютъ ихъ сами авторы ихъ; однакоже не во всѣхъ случаяхъ это справедливо, и учащійся легко можетъ быть вовлеченъ въ ошибку. Исторія же Уэвелля въ этомъ отношеніи очень осторожна и строга; и нѣкоторымъ читателямъ, успокоив-

шимся безъ дальнѣйшихъ хлопотъ на послѣднихъ теоріяхъ той или другой науки, придется можетъ быть, при чтеніи ея, испытать разочарованіе, хоть и не совсѣмъ пріятное, но очень полезное, потому что оно шевелитъ успокоившійся умъ и побуждаетъ его къ дальнѣйшей работѣ и разысканіямъ.

Къ сожалѣнію исторія Уэвелля, несмотря на свои философскія претензіи, не имѣетъ исторически философскаго элемента, такъ что ее нельзя назвать философской исторіей естествознанія; она только фактическая исторія. Окончивъ свою исторію, Уэвелль предполагаетъ, что кто-нибудь изъ его читателей спроситъ: «ужели это и все?» и отвѣчаетъ на этотъ вопросъ не очень ясными и неопредѣленными соображеніями о томъ, что методъ познанія истины, употреблявшійся въ индуктивныхъ наукахъ, можетъ быть съ нѣкоторыми измѣненіями приложенъ и къ познанію отвлеченныхъ, моральныхъ и метафизическихъ предметовъ, считая эти соображенія дополнительнымъ выводомъ изъ своей исторіи. Но этимъ отвѣтомъ нельзя удовлетвориться и въ умѣ невольно повторяется прежній вопросъ «ужели это и все?» Ужели это все, что́ сдѣлали естественныя науки и ужели не сдѣлали онѣ ничего болѣе? Ужели роль ихъ и вліяніе въ исторіи человѣчества тѣмъ только и ограничивались, что онѣ собрали множество фактовъ и дошли до нѣсколькихъ несомнѣнныхъ положеній и вѣроятныхъ теорій относительно явленій внѣ-

шней природы? Ужели онѣ не имѣли никакого вліянія на другія стороны человѣческой жизни и дѣятельности кромѣ ея внѣшней обстановки? Ужели естественныя науки не дѣйствовали могучимъ образомъ на общій прогрессъ человѣчества, на весь ходъ его цивилизаціи? Ужели онѣ не производили обширныхъ и глубокихъ переворотовъ во всемъ міросозерцаніи человѣчества, въ духѣ и направленіи другихъ наукъ, повидимому не имѣющихъ близкой связи съ естествознаніемъ? Ужели нельзя найти въ исторіи науки примѣровъ, когда естествознаніе уничтожало закоренѣлые предразсудки, какъ теоретическіе такъ и практическіе, и тѣмъ содѣйствовало гуманности людей? На всѣ эти вопросы нѣтъ отвѣта въ исторіи Уэвелля. Онъ совершенно, намѣренно или ненамѣренно, упустилъ изъ виду связь естествознанія съ всеобщей исторіей культуры и цивилизаціи, связь, вслѣдствіе которой историки цивилизаціи, литературы, даже военные историки даютъ такъ много мѣста и значенія въ своихъ трудахъ исторіи научныхъ открытій. Характеристичность и особенность новому времени, и преимущественно новѣйшему, сообщаютъ естественныя науки; и Гёксли прекрасно и живо выразилъ это, представивъ такую картину: Вообразите, что римскій христіанскій мальчикъ IV вѣка, сынъ достаточныхъ родителей, получившій хорошее воспитаніе и кончившій полный курсъ тогдашняго ученія, вдругъ очутился бы въ настоящее время въ одной изъ

публичныхъ англійскихъ школъ и сталъ бы проходить курсъ ея ученія. Гёксли предполагаетъ, что еслибъ это была классическая школа, то мальчикъ не много встрѣтилъ бы незнакомаго ему еще въ IV вѣкѣ, и даже не услышалъ бы ни одной совершенно новой для него общей мысли, и еслибъ узналъ нѣкоторые новые факты, то они не могли бы внушить ему совершенно новаго для него міровоззрѣнія *). Между тѣмъ какъ еслибы онъ попалъ въ школу естествознанія и прошелъ ее, то очутился бы въ совершенно новомъ для него мірѣ, потому что разницу между умственнымъ складомъ и тономъ мысли нашего и того времени произвело главнымъ образомъ естествознаніе.—Было бы чрезвычайно желательно и интересно найти у историка естествознанія, глубоко и основательно изучившаго свой предметъ, хоть общій очеркъ этой важной стороны естествознанія. Но Уэвелль не представилъ намъ общей характеристики современныхъ естественныхъ наукъ, того общаго направленія, какое онѣ приняли въ настоящее время и какимъ отличаются отъ предшествующихъ періодовъ, тѣхъ общихъ тенденцій, которыя ихъ одушевляютъ, тѣхъ руководящихъ идей, которыя проникаютъ и движутъ ихъ, словомъ того духа, который оживляетъ и объединяетъ всѣ тѣ многообразныя и разбро-

*) Эд. Юмансъ. «Новѣйшее образованіе». О методѣ изученія зоологіи. Т. Гёксли.

санныя по обширному пространству работы, о которыхъ говорила его исторія и которыя продолжаются до настоящей минуты; можетъ быть онъ инстинктивно чувствовалъ, что этотъ духъ далеко не гармонируетъ съ его любимой философіей и ея духомъ.—Но подобные пропуски можно извинить въ исторіи Уэвелля за ея несомнѣнныя достоинства въ фактическомъ отношеніи.

Можно еще пожалѣть о томъ, что послѣднее изданіе исторіи Уэвелля сдѣлано еще въ 1857 г., и авторъ уже умеръ. Въ 10 лѣтъ энергической и горячей работы, какою отличаются естественныя науки, можетъ быть сдѣлано очень многое. И дѣйствительно, съ тѣхъ поръ наука обогатилась фактами и положеніями, которые заслуживаютъ мѣсто въ общей исторіи естествознанія. Поэтому издатели настоящаго сочиненія предполагаютъ впослѣдствіи выпустить въ свѣтъ дополнительный оригинальный томъ, въ которомъ будутъ указаны по крайней мѣрѣ главнѣйшія пріобрѣтенія въ наукахъ, исторію которыхъ Уэвелль довелъ до 1857 года.

Въ заключеніе приведемъ нѣсколько біографическихъ свѣдѣній о самомъ Уэвеллѣ.

Вильямъ Уэвелль (Whewell) родился 24 мая 1795 г. въ Ланкастерѣ. Сначала онъ предназначалъ себя для жизни ремесленника, которую проводилъ и его отецъ; но потомъ, по счастью, онъ попалъ на ученую дорогу. По окончаніи ученія въ грамматической школѣ своего города, онъ поступилъ въ Кембриджскій университетъ

и получилъ тамъ докторскую степень. Онъ спеціально занимался математикой и ввелъ нѣкоторые улучшенные способы въ преподаваніе этой науки. Къ этому времени относятся его сочиненія «Руководство статики и динамики» и «Механическій Эвклидъ», заключающій въ себѣ относительно механики то, чтó у настоящаго Эвклида сдѣлано относительно геометріи. Въ 1828 г. онъ сдѣланъ былъ профессоромъ минералогіи и для усовершенствованія себя въ этой наукѣ отправился въ Германію, прилежно посѣщалъ лекціи въ Фрейбергѣ и Вѣнѣ, и здѣсь же, вѣроятно, ближе познакомился съ нѣмецкой философіей и въ особенности съ философіей Канта. Убѣдившись, что для основательнаго знанія и преподаванія минералогіи необходимо не менѣе основательное знаніе химіи, онъ оставилъ профессорскую должность по минералогіи, чтобы на свободѣ усовершенствовать себя въ химіи.

Въ это время Уэвелль принялъ участіе въ составленіи такъ-называемыхъ Бриджватеровскихъ трактатовъ. Извѣстный англійскій чудакъ, необыкновенный любитель и почитатель собакъ и кошекъ, завѣщалъ громадную сумму на изданіе большаго сочиненія, цѣлью котораго было бы указаніе всемогущества, премудрости и благости Божіей въ устройствѣ міра. Вслѣдствіе этого и издано было нѣсколько сочиненій по естествознанію съ подобною тенденціею; и въ числѣ ихъ было сочиненіе Уэвелля: «Астро-

номія и общая физика въ ихъ отношеніяхъ къ естественной теологіи» (Astronomy and general physics, considered in reference to natural theology, Лондонъ 1834). Спеціальная цѣль и задача этого сочиненія положили неизгладимую печать на всю философію Уэвелля и на всѣ его послѣдующія сочиненія, въ которыхъ онъ никакъ не могъ совершенно освободиться отъ этой спеціальной цѣли и преслѣдовать только общую научную цѣль. Черезъ нѣсколько лѣтъ, именно въ 1837 г., явилось первое изданіе его «Исторіи Индуктивныхъ наукъ», а въ 1840 г. его «Философія Индуктивныхъ наукъ». Оба эти сочиненія находятся въ связи между собою и первое изъ нихъ было приготовленіемъ и матеріаломъ для послѣдняго. Въ «Философіи Индуктивныхъ наукъ», состоящей изъ двухъ большихъ отдѣловъ, изъ «Исторіи научныхъ идей» (History of scientific ideas) и «Возобновленнаго Новаго Органона» (Novum Organon renovatum), составленнаго по образцу извѣстнаго Органона Бакона, разсматривается то, что̀ обыкновенно называется метафизикой или онтологіей и натурфилософіей, т. е. какъ философскія идеи или категоріи о всякомъ бытіи вообще, каковы, напр. категоріи пространства и времени, причины и дѣйствія и проч., такъ и категоріи о явленіяхъ внѣшней природы, тѣ общія понятія или научныя идеи, которыя имѣютъ нѣкоторое значеніе въ естествознаніи, какова напр. идея силы и матеріи, атомовъ, движенія, жизни и

проч.; въ Новомъ же Органонѣ разсматриваются способы и средства познаванія и открытія истины. Въ своихъ умозрѣніяхъ объ этихъ предметахъ Уэвелль слѣдуетъ Канту, но съ измѣненіями и передѣлками, въ которыхъ потерялись вся глубина и весь критицизмъ великаго нѣмецкаго мыслителя. Уэвелль обратилъ чистую монету Канта въ низкопробную и хотѣлъ примѣнить ее къ старымъ формамъ англійской давней философіи преданія и поддержать ею то, что̀ навѣки убила философія Канта. Онъ совершенно расходится съ эмпирической философіей, основанной его знаменитымъ соотечественникомъ Локкомъ, и сближается скорѣе съ нѣмецкими идеалистами; онъ допускаетъ возможность познанія a priori, почерпнутаго не изъ опыта, доказываетъ, что апріористичны и составлены умомъ идеально, независимо отъ опыта не только такъ-называемыя аксіомы математики, но и многія положенія чисто опытныхъ наукъ, что они не только по формѣ, но даже по содержанію какъ-бы врождены уму, и онъ ихъ почерпаетъ изъ самого себя, и т. д. въ этомъ идеалистическомъ родѣ. Всѣ главнѣйшія положенія этой его философіи побѣдоносно опровергнуты Миллемъ въ его «Логикѣ».

Въ 1838 г. онъ сдѣланъ былъ профессоромъ моральной философіи, и издалъ нѣсколько сочиненій по этому предмету, между которыми болѣе замѣчательны слѣдующія: «Элементы морали со включеніемъ политики» (Elements of

Morality); «Чтенія о систематической морали» (Lectures on Systematic Morality), и «Чтенія объ исторіи моральной философіи» (Lectures on the History of moral philosophy in England).

Въ то же время онъ занимался и естествознаніемъ, и составлялъ для Британской Ассоціаціи отчеты о математическо-физическихъ теоріяхъ, особенно о теоріяхъ теплоты, электричества и магнетизма. Въ 1841 г. онъ сдѣланъ былъ президентомъ этой Ассоціаціи и въ томъ же году, во время министерства Пиля, получилъ вліятельное мѣсто мастера (директора) одной коллегіи (Trinity College) при Кембриджскомъ университетѣ, дававшее ежегоднаго содержанія 3000 фунт. стерл. (около 20,000 р. с.). Онъ умеръ въ 1866 г. на 71 году.

Уэвелль имѣлъ не очень глубокій и сильный, но многосторонній и ясный умъ; онъ спеціально занимался кромѣ математики и философіи многими естественными науками и въ нѣкоторыхъ изъ нихъ сдѣлалъ оригинальныя работы; онъ зналъ политическую экономію, издавалъ чужія политико-экономическія сочиненія и читалъ лекціи по политической экономіи принцу Уэльскому, и въ тоже время переводилъ на англійскій языкъ стихами нѣкоторыя поэтическія произведенія Гёте. Уэвелль былъ строгимъ, даже крайнимъ консерваторомъ во всемъ, въ философіи, въ религіи и морали, въ наукѣ, въ политикѣ, въ общественной и педагогической

дѣятельности; во всѣхъ этихъ сферахъ онъ придерживался старыхъ формъ преданія и враждебно относился къ нововведеніямъ.

М. Антоновичъ.

КНИГА VI.

МЕХАНИЧЕСКІЯ НАУКИ.

ИСТОРІЯ
МЕХАНИКИ ТВЕРДЫХЪ И ЖИДКИХЪ
ТѢЛЪ.

ΚΡΑΤΟΣ ΒΙΑ ΤΕ, σφῷν μὲν ἐντολὴ Διὸς
Ἔχει Τέλος δή, κ'οὐδὲν ἐμποδὼν ἔτι.

Æschylus. *Prom. Vinct.* 13.

Вы, Насиліе и Власть, совершили трудъ, назначенный вамъ Зевсомъ; и теперь ничто не помѣшаетъ дѣлу другихъ рукъ.

ВВЕДЕНІЕ.

Теперь мы вступаемъ въ новую область человѣческаго ума. Переходя отъ астрономіи къ механикѣ, мы переходимъ отъ Формальныхъ наукъ къ Физическимъ, отъ времени и пространства къ Силѣ и Матеріи, отъ явленій къ Причинамъ. До сихъ поръ мы занимались только путями и орбитами, періодами и циклами, углами и разстояніями предметовъ, изучаемыхъ наукой, т. е. небесныхъ тѣлъ. Но какъ происходятъ ихъ движенія, какіе агенты, импульсы и силы заставляютъ ихъ быть тѣмъ, что они есть, какова сущность самихъ предметовъ, — всѣхъ этихъ вопросовъ мы еще не касались до сихъ поръ. Намъ теперь предстоитъ исторія разрѣшенія этихъ вопросовъ; но прежде всего мы должны разсмотрѣть исторію рѣшенія вопросовъ, касающихся Движенія вообще, какъ земнаго, такъ и небеснаго. Мы должны сначала обратиться къ Механикѣ и потомъ уже возвратиться къ Физической астрономіи.

Подобно тому, какъ развитіе чистой математики, начавшееся у Грековъ, было необходимымъ условіемъ

для прогресса формальной астрономіи, возникновеніе Механическихъ наукъ сдѣлалось необходимымъ для образованія и прогресса физической астрономіи. Геометрія и механика изучались сами по себѣ, независимо отъ ихъ приложеній; но онѣ сообщили и другимъ наукамъ свои понятія, языкъ и способъ доказательствъ. Еслибы Греки не разработали коническихъ сѣченій, то Кеплеръ по своимъ воззрѣніямъ не сталъ бы выше Птолемея; а еслибы Греки разработали динамику *), то Кеплеръ можетъ быть опередилъ бы Ньютона.

*) Динамика есть наука, которая занимается движеніями тѣлъ, а статика есть наука, которая занимается давленіемъ тѣлъ, находящихся въ равновѣсіи.

ГЛАВА I.

Приготовительный періодъ къ эпохѣ Галилея.

§ 1. Первоначальные матеріалы для основанія науки статики.

Мы уже видѣли, что древніе сдѣлали нѣсколько шаговъ въ наукѣ о движеніи или лучше въ наукѣ о равновѣсіи. Архимедъ удовлетворительно установилъ ученіе о рычагѣ, открылъ нѣсколько важныхъ свойствъ центра тяжести и опредѣлилъ основное положеніе гидростатики. Но это начало не повело къ дальнѣйшему прогрессу. Мы не знаемъ, ясно ли понималъ Архимедъ различіе между понятіемъ о равновѣсіи и понятіемъ о движеніи; но это различіе не было отчетливо представляемо ни однимъ писателемъ древности и даже среднихъ вѣковъ. Но что еще хуже, это то, что и тотъ пунктъ, который былъ пріобрѣтенъ Архимедомъ, впослѣдствіи былъ потерянъ. Мы представили нѣсколько примѣровъ общаго невѣжества греческихъ философовъ относительно подобныхъ предметовъ, когда говорили о томъ странномъ пріемѣ Аристотеля, что

онъ обращался къ отвлеченымъ понятіямъ и отвлеченнымъ математическимъ качествамъ, чтобы объяснить равновѣсіе рычага и положеніе человѣка, встающаго со стула. Мы видѣли также, когда говорили о неясныхъ представленіяхъ среднихъ вѣковъ, что попытки, сдѣланныя для дальнѣйшаго развитія статическихъ понятій Архимеда, были неудачны и показали только, что его послѣдователи не ясно поняли его основную идею, отъ которой отправлялись его воззрѣнія. Мрачное облако, разсѣявшееся-было навремя отъ его присутствія, послѣ него снова сгустилось и прежняя тьма и путаница покрыла міръ.

Эти тьма и путаница относительно всѣхъ предметовъ, изучаемыхъ механикой, господствовали очень долго,—до того самаго періода, который мы должны изучать теперь, т. е. до перваго обнародованія мнѣній Коперника. Этотъ предметъ такъ важенъ, что я долженъ разъяснить его подробнѣе.

Конечно нѣкоторыя общія свѣдѣнія о связи Причины и Дѣйствія въ движеніи существовали въ человѣческомъ умѣ во всѣ періоды его развитія и имѣли вліяніе на образованіе языка и на самыя обыкновенныя приложенія человѣческихъ мыслей; но эти свѣдѣнія не составляли науки механики, подобно тому какъ понятіе о кругломъ и четвероугольномъ не составляютъ геометріи, или понятія о мѣсяцахъ и годахъ не составляютъ астрономіи. Для того, чтобы образовалась наука, эти неопредѣленныя свѣдѣнія должны стать раздѣльными понятіями, на которыхъ можно было бы основать принципы и доказательства. Но

прошло очень много времени, прежде чѣмъ установились такія научныя понятія о движеніи, и человѣческая мысль долго оставалась погруженной въ ея первоначальную и ненаучную неопредѣленность.

Мы можемъ привести здѣсь нѣсколько примѣровъ этой неопредѣленности у авторовъ, принадлежащихъ къ разсматриваемому нами періоду.

Говоря о греческихъ философскихъ школахъ, мы уже указывали на попытки, которыя дѣлались для того, чтобы найти разницу между движеніями, и раздѣляли движеніе на естественное и насильственное. Мы также говорили и о томъ мнѣніи, будто тяжелыя тѣла падаютъ съ тѣмъ большей скоростью, чѣмъ больше ихъ вѣсъ. Эти положенія держались долго; но воззрѣнія, заключавшіяся въ нихъ, въ сущности ошибочны и неправильны, потому что они не указываютъ опредѣленно на Измѣримую Силу, какъ причину всякаго движенія и измѣненій движенія, и смѣшиваютъ причины, которыя производятъ движеніе, съ причинами, которыя поддерживаютъ его. Поэтому подобныя положенія не могли непосредственно привести къ прогрессу знаній, хотя и были сдѣланы попытки примѣнить ихъ къ земнымъ движеніямъ и къ движеніямъ небесныхъ тѣлъ.

Дѣйствія Наклонной Плоскости были самымъ первымъ и важнѣйшимъ положеніемъ, на которомъ новые ученые стали пробовать свои силы. Было найдено, что тѣло, когда оно лежитъ на наклонной плоскости, можетъ быть поддерживаемо или поднято вверхъ силой или напряженіемъ, которыя не могли бы держать или поднять его, еслибы подъ нимъ не

было наклонной плоскости. Поэтому наклонная плоскость была помѣщена въ списокъ механическихъ силъ или простыхъ машинъ, которыя увеличиваютъ дѣйствія силъ. Оставалось только рѣшить вопросъ, въ какой пропорціи происходитъ это увеличеніе при наклонной плоскости. Легко было замѣчено, что сила, потребная для поддержанія тѣла, тѣмъ меньше, чѣмъ меньше наклонъ покатой плоскости; Карданъ [1]) (котораго сочиненіе «De proportionibus numerorum, motuum, ponderum et caet.» было издано въ 1545 г.) утверждаетъ, что сила должна быть вдвое больше, когда уголъ наклоненія вдвое больше и т. д. для другихъ угловъ наклоненія; вѣроятно это только догадка и догадка ошибочная. Гвидо Убальди изъ Маркмонта издалъ въ Пезаро въ 1577 г. сочиненіе подъ заглавіемъ: «Mechanicorum liber», въ которомъ онъ старается доказать, что острый Клинъ производитъ больше механическаго дѣйствія, чѣмъ тупой, не опредѣляя однако, въ какой пропорціи. Существуетъ, замѣчаетъ онъ, какое-то отталкиваніе между направленіемъ, въ которомъ сторона клина стремится двигать препятствіе, и направленіемъ, въ которомъ оно дѣйствительно двигается. Такимъ образомъ клинъ и наклонная плоскость относятся къ одному принципу. Также точно и Винтъ онъ относитъ къ наклонной плоскости и клину, что показываетъ въ немъ вѣрное пониманіе дѣла. Бенедетти (1585) смотритъ на клинъ иначе; его воззрѣніе невѣрно, однако показываетъ нѣкоторую силу мысли при сужденіи о предметахъ механики. Михаилъ Варро, котораго «Tractatus de motu» появился въ Женевѣ въ 1584 г., объясняетъ клинъ сложеніемъ ги-

потетическихъ движеній и объясняетъ такимъ образомъ, что иному можетъ показаться, будто онъ здѣсь предуказалъ ученіе о сложеніи и разложеніи силъ.

Есть еще другое сочиненіе о предметахъ этого рода, имѣвшее много изданій въ XVI столѣтіи и разсматривавшее свой предметъ почти такъ же какъ и Варро: относительно этого сочиненія было высказано предположеніе *), которое я считаю неосновательнымъ, будтобы оно заключаетъ въ себѣ вѣрный принципъ для разрѣшенія проблеммы движенія. Это сочиненіе Іордана Немораріуса «De ponderositate». Время его появленія и исторія его автора были неизвѣстны, даже тогда: потому что въ 1599 г. Бенедетти, исправляя нѣкоторыя ошибки Тартальи, говоритъ, что они замѣчены имъ у нѣкоего древняго Іордана. Эта книга была вѣроятно школьнымъ учебникомъ и потому была въ большомъ употребленіи; потому что въ изданіи, напечатанномъ во Франкфуртѣ въ 1533 г., сказано, что она «cum gratia et privilegio imperiali, Petro Apiano, mathematico Ingolstadiano, ad XXX annos concesso». Но въ этомъ изданіи еще не говорится о наклонной плоскости. Хотя компиляторы этого сочиненія видѣли въ нѣкоторыхъ словахъ его указаніе на обратную пропорціональность между вѣсомъ и его скоростью, но въ то время они еще не умѣли примѣнить это правило къ наклонной плоскости и не въ состояніи были представить для него основанія. Въ изданіи, сдѣланномъ въ Венеціи въ 1565 г., есть уже попытка сдѣлать такое приложеніе. Всѣ сообра-

*) Drinkwater's *Life of Galileo* въ *the Lib. Usef. Kn.* 83.

женія объ этомъ основаны на положеніи Аристотеля, что тѣла падаютъ со скоростью пропорціональной ихъ вѣсу. Къ этому принципу прибавлены еще и нѣкоторые другіе, какъ напримѣръ то, что тѣло бываетъ тѣмъ тяжелѣе, чѣмъ прямѣе линія, по которой оно опускается къ центру, и чѣмъ наклоннѣе идетъ тѣло внизъ, тѣмъ меньше становится задерживающая часть прямаго опусканія. При помощи этихъ принциповъ, сила, движущая тѣла внизъ по наклонной плоскости, была сравниваема съ другими явленіями, посредствомъ пріема, который хотя вообще и можетъ быть доказательствомъ, но представляетъ любопытный примѣръ путаницы и ошибки въ умозаключеніяхъ. Если два тѣла лежатъ на двухъ наклонныхъ и соединенныхъ вверху плоскостяхъ и связаны одно съ другимъ посредствомъ веревки, проходящей поверхъ соединенія плоскостей, то когда одно тѣло опускается другое должно подниматься и они будутъ проходить равныя пространства на плоскостяхъ; но на плоскости, которая болѣе наклонна, т. е. ближе къ горизонту, вертикальное опусканіе тѣла будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ эта плоскость длиннѣе другой. Здѣсь, по принципу Аристотеля, вѣсъ тѣла, движущагося по болѣе наклонной плоскости, меньше, чѣмъ вѣсъ другаго, движущагося по менѣе наклонной плоскости, и чтобы произвести равное дѣйствіе первое тѣло должно быть больше въ той же пропорціи. Мы здѣсь видимъ, что нетолько принципъ Аристотеля ложенъ, но еще онъ приложенъ здѣсь невѣрно; потому что онъ въ сущности выражаетъ собой то, что когда тѣла падаютъ свободно вслѣдствіе тяжести, то они будто бы движутся тѣмъ ско-

рѣй, чѣмъ они тяжелѣй, а между тѣмъ въ вышеописанномъ случаѣ это правило приложено къ тѣмъ движеніямъ, которыя производятся въ тѣлахъ силой, отличной отъ ихъ тяжести. Послѣдователи Аристотеля составили свой принципъ только относительно дѣйствительной или актуальной скорости, а Іорданъ, не сознавая этого, приложилъ ихъ къ виртуальной скорости или къ внутренней напряженности энергіи тѣла. Вслѣдствіе этой спутанности произошло то, что будтобы тѣла одинаково тяжелыя имѣютъ и равную силу при опусканіи по наклонной плоскости; и кромѣ того въ первой части доказательства предполагается, будтобы пространство, проходимое тѣломъ опускающимся по прямой линіи, одинаково съ тѣмъ пространствомъ, которое оно проходитъ при опусканіи по вертикальной линіи. Изъ всего этого видно, что авторъ, принявъ ложный принципъ Аристотеля, не опредѣлилъ себѣ, каковы движенія, о которыхъ онъ говоритъ, актуальныя или виртуальныя, соотвѣтствуютъ ли движенія по наклонной плоскости движеніямъ по вертикальной и есть ли сила опусканія тѣла что-либо отличное отъ его тяжести. Мы не сомнѣваемся, что еслибы у него попросили точно указать на случаи, къ которымъ примѣняется это положеніе, то онъ не могъ бы этого сдѣлать; потому что онъ не имѣетъ яснаго понятія о той основной идеѣ давленія и силы, отъ которыхъ зависитъ всякое дѣйствительное познаніе объ этихъ предметахъ. Всѣ соображенія Іордана представляютъ только примѣръ сбивчивости понятій въ этомъ періодѣ и больше ничего. Нуженъ былъ какой-нибудь геніальный человѣкъ, чтобы дать этому предмету чисто

научное основаніе, подобно тому, какъ нуженъ былъ Архимедъ для того чтобы доказать положеніе Аристотеля о пропорціональности вѣса въ рычагѣ.

Такимъ образомъ мы не станемъ удивляться тому, что хотя эта такъ-называемая теорема и была повторяема другими писателями, какъ напримѣръ Тарталеей въ его «Quaesiti et inventioni diversi», явившейся въ 1554 г., однако при помощи ея не было сдѣлано ни одного шага къ дѣйствительному разрѣшенію какой-нибудь механической проблемы. Гвидо Убальди въ 1577 г. писалъ такъ, какъ будтобы онъ усвоилъ себѣ всѣ понятія своего времени объ этомъ предметѣ; однако для рѣшенія проблемы о наклонной плоскости онъ ссылается на Паппуса не упоминая объ Іорданѣ и Тартальи. Прогрессъ не возможенъ былъ до тѣхъ поръ, пока математики не возвратились къ отчетливому понятію давленія, какъ силѣ, производящей равновѣсіе, понятію, которое уже имѣлъ Архимедъ и которое недавно ожило въ Стевинѣ.

Свойства рычага были извѣстны математикѣ, хотя въ мрачный періодъ среднихъ вѣковъ и не была понята сила доказательства, представленная Архимедомъ. Поэтому нечего удивляться, что разсужденія, подобныя умствованіямъ Іордана, были съ видимымъ успѣхомъ прилагаемы къ разъясненію теоріи рычага. Писатели о механикѣ, какъ мы видѣли, были столь нерѣшительны и неточны въ разъясненіи словъ и положеній, что ихъ пріемы могли доказать все, что имъ казалось вѣрнымъ.

Послѣ этого мы будемъ говорить о началѣ дѣйствительныхъ успѣховъ механики въ новѣйшее время.

§ 2. Возрожденіе научнаго понятія о давленіи — Стевинъ. — Равновѣсіе наклонныхъ силъ.

Ученіе о центрѣ тяжести было той именно частью механическихъ воззрѣній Архимеда, которыя самымъ тщательнымъ образомъ обработывались послѣ него. Паппусъ и нѣкоторые другіе изъ древнихъ разрѣшили нѣсколько проблемъ объ этомъ предметѣ и Коммандинусъ издалъ въ 1565 г. сочиненіе «De centro gravitatis solidorum». Этотъ трактатъ и подобные ему заключали въ себѣ большей частью только математическія послѣдствія, вытекавшія изъ ученія Архимеда; математики твердо держались того понятія о механическомъ свойствѣ центра тяжести, что вся тяжесть тѣла можетъ быть собрана въ этотъ центръ безъ всякаго измѣненія въ механическихъ результатахъ: и это понятіе весьма тѣсно связано съ нашими основными воззрѣніями на механическія дѣйствія. Этотъ принципъ даетъ намъ возможность опредѣлить результатъ многихъ простыхъ механическихъ комбинацій. Еслибы напримѣръ у какого-нибудь математика нашего времени спросили, можно ли устроить твердый шаръ такой формы, чтобы онъ, будучи положенъ на горизонтальную плоскость, катился безконечно только вслѣдствіе его собственной тяжести, то онъ навѣрно отвѣчалъ бы, что нельзя; потому что центръ тяжести шара стремится найти самое низкое возможное положеніе и если онъ найдетъ его, то шаръ уже не будетъ имѣть стремленія катиться далѣе. И, давая такой отвѣтъ, предполагаемый математикъ не сталъ бы ссылаться на доказательства невозможности безконечнаго движенія,

заимствованныя изъ принциповъ, открытыхъ впослѣдствіи, но просто свелъ бы вопросъ на извѣстныя основныя воззрѣнія, которыя,—аксіомы они или нѣтъ,—неозбѣжно сопровождаютъ наши механическія соображенія.

Подобно этому, еслибы у Стевина изъ Брюгге въ 1586 г., когда онъ напечаталъ свое сочиненіе «Beghinselen der Waaghconst» (Принципы равновѣсія), спросили, почему цѣпь, повѣшенная на треугольную балку, не можетъ двигаться постоянно кругомъ только дѣйствіемъ своей собственной тяжести, —какъ онъ и утверждалъ это,—то онъ навѣрное отвѣчалъ бы, что тяжесть цѣпи, хотя она вообще и производитъ движеніе, стремится однако привести ее въ извѣстное опредѣленное положеніе; и если цѣпь достигла этого положенія, то она уже не будетъ имѣть стремленія двигаться далѣе. И такимъ образомъ невозможность безконечпаго движенія привела бы Стевина къ воззрѣнію на тяжесть какъ на силу, стремящуюся произвести равновѣсіе, т. е. къ принципу совершенно основательному и вѣрному.

На принципѣ равновѣсія, такимъ образомъ понимаемомъ, Стевинъ утвердилъ основное свойство наклонной плоскости. Онъ предположилъ цѣпь изъ веревки, къ которой привѣшено 14 равныхъ шаровъ и въ равномъ разстояніи одинъ отъ другаго; цѣпь эта повѣшена на треугольную подставку, которая состоитъ изъ двухъ наклонныхъ плоскостей съ горизонтальнымъ основаніемъ и стороны которой, будучи неравны въ пропорціи 2 : 1, имѣли на себѣ большая 4 шара, а меньшая 2. Онъ доказалъ, что веревка должна ви-

сѣть безъ движенія, потому что всякое передвиженіе ея привело бы ее въ то же самое положеніе, въ какомъ она была и прежде, и что остальную часть веревки съ 8 шарами, висѣвшую ниже треугольника, можно было совсѣмъ отнять не нарушивъ равновѣсія. Такъ что, значитъ, 4 шара на длинной плоскости уравновѣшивались только двумя шарами на короткой или, другими словами, тяжести относились какъ длины плоскостей, пересѣченныхъ горизонтальной линіей.

Стевинъ показалъ, что онъ вполнѣ овладѣлъ истиной, заключающейся въ этомъ принципѣ, выведши изъ него свойства силъ, дѣйствующихъ въ наклонныхъ направленіяхъ при всѣхъ условіяхъ, т. е. показалъ возможность утвердить на немъ полное ученіе о Равновѣсіи; и на его основаніяхъ, безъ всякой другой опоры, математическія положенія статики могли бы достигнуть высшей степени совершенства, на которой они стоятъ теперь. Такимъ образомъ первоначальное образованіе науки было кончено; математическое развитіе и изложеніе ея могли уже расширяться болѣе и измѣняться.

(2 изд.) Симонъ Стевинъ изъ Брюгге, какъ онъ обыкновенно самъ себя называетъ въ заглавіи своихъ сочиненій, сталъ недавно предметомъ общаго интереса въ своей странѣ и тамъ рѣшено даже поставить въ честь его памятникъ на одной изъ площадей его роднаго города. Онъ родился въ 1548 г., какъ говорится въ замѣткѣ о немъ Кетле, и умеръ въ 1620. Монтукла говоритъ, что онъ умеръ въ 1633 г.; вѣроятно онъ былъ введенъ въ заблужденіе предислові-

емъ къ изданію сочиненій Стевина, сдѣланнымъ Альбертомъ Жирардомъ въ 1634 г. Въ этомъ предисловіи говорится, что смерть послѣдовала въ предшествующемъ году; но это относится къ Жирарду, а не къ Стевину.

Я долженъ упомянуть еще о положеніи, которое опредѣленно установилъ Стевинъ, относительно треугольника силъ; именно, что три силы, дѣйствующія на одну точку находятся въ равновѣсіи тогда, когда онѣ бываютъ параллельны и пропорціональны тремъ сторонамъ плоскаго треугольника. Это заключаетъ въ себѣ принципъ Сложенія Статическихъ Силъ. И Стевинъ прилагаетъ свой принципъ равновѣсія къ веровкамъ натянутымъ, повѣшеннымъ къ многоугольникамъ изъ веревокъ и въ особенности къ поводьямъ узды; эту отрасль механики онъ называетъ Х а л и н о т л и п с и с ъ.

Съ другой стороны заслуга его состоитъ также въ томъ, что онъ весьма ясно понималъ различіе между статическими и динамическими проблемами. Онъ замѣчаетъ, что вопросъ, какая сила можетъ удержать нагруженную телѣгу на наклонной плоскости? есть вопросъ статическій, зависящій отъ простыхъ условій; но вопросъ, какая сила можетъ двигать телѣгу? требуетъ введенія въ дѣло разныхъ добавочныхъ соображеній.

Въ 4 главѣ этой книги я покажу на участіе Стевина во вторичномъ открытіи законовъ равновѣсія жидкости. Онъ отчетливо объяснилъ гидростатическій парадоксъ, открытіе котораго обыкновенно приписывается Паскалю.

Леонардо да Винчи[2]) долженъ еще прежде Стевина занимать мѣсто между открывателями условій равновѣсія наклонныхъ силъ. Онъ не издалъ сочиненія объ этомъ предметѣ; но извлеченія изъ его рукописей были напечатаны Вентури въ его Essai sur les ouvrages Physico-Mathématiques de Leonard da Vinci, avec de fragmens tirés de ses manuscrits, apportés d'Italie, 1797 и у Либри въ его Hist. des Sc. Math. en Italie, 1839. Я самъ разсматривалъ эти рукописи въ королевской библіотекѣ въ Парижѣ.

Кажется, что еще въ 1499 г. Леонардо далъ совершенно вѣрное объясненіе отношенія силъ, производимыхъ веревкой, которая дѣйствуетъ наклонно и держитъ тяжесть на рычагѣ. Онъ отличалъ дѣйствительный рычагъ и возможный рычагъ, т. е. перпендикуляръ, протянутый отъ центра по направленію силъ. Это довольно основательно и удовлетворительно. Эти взгляды по всей вѣроятности сдѣлали въ Италіи многое для будущаго вліянія воззрѣній Галилея, понятія котораго о рычагѣ во многомъ сходны съ понятіями объ этомъ предметѣ Леонардо. Да Винчи также предупредилъ Галилея въ томъ мнѣніи, что время опусканія тѣла внизъ по наклонной плоскости относится ко времени опусканія по вертикальной длинѣ какъ длина плоскости — къ ея высотѣ. Но я думаю, что это была не больше какъ догадка, потому что въ подтвержденіе ея онъ не привелъ никакого доказательства.

Одновременно сдѣланные успѣхи въ другихъ областяхъ механики, въ ученіи о движеніи, встрѣтились съ независѣвшими отъ нихъ открытіями въ области

статики, къ которой мы теперь обращаемся. Мы должны прежде всего замѣтить, что въ это время быстро распространились вѣрныя понятія о сложеніи силъ. Tractatus de motu Михаила Варро изъ Женевы, уже упомянутый нами и напечатанный въ 1584 г., высказалъ положеніе, что силы, уравновѣшивающія одна другую и дѣйствующія по направленію сторонъ прямоугольнаго треугольника; пропорціональны этимъ сторонамъ треугольника; и хотя это положеніе повидимому не вытекало изъ опредѣленнаго понятія о давленіи, однако авторъ правильно вывелъ изъ него свойства клина и винта. Скоро послѣ этого Галилей вывелъ тѣ же самые результаты изъ другихъ принциповъ. Въ его трактатѣ Delle Scienze Mecaniche (1592), онъ основательно и довольно удовлетворительно относитъ наклонную плоскость къ рычагу, представляя рычагъ помѣщеннымъ такимъ образомъ, что движеніе тѣла на концѣ одного изъ его колѣнъ совершается въ томъ же направленіи, какъ и по наклонной плоскости. Съ небольшимъ видоизмѣненіемъ это соображеніе можетъ быть настоящимъ доказательствомъ.

§ 3. Приготовительные матеріалы для основанія науки динамики. — Попытки къ установленію перваго закона движенія.

Мы уже видѣли, что Аристотель раздѣлялъ движеніе на естественное и насильственное. Карданъ старался поправить это дѣленіе, сдѣлавъ три класса движенія: произвольное движеніе, которое бываетъ кругообразно и равномѣрно и которое обнаруживается въ

небесныхъ движеніяхъ; естественное движеніе, которое неравномѣрно и къ концу дѣлается быстрѣе, каково напримѣръ движеніе падающаго тѣла,—это движеніе совершается по прямой линіи, потому что оно имѣетъ извѣстную цѣль, а природа всегда достигаетъ своихъ цѣлей кратчайшимъ путемъ; и наконецъ, насильственное движеніе, заключающее въ себѣ всѣ роды движенія, отличные отъ первыхъ двухъ. Карданъ былъ увѣренъ, что насильственное движеніе можетъ быть произведено весьма малой силой; такъ онъ утверждаетъ, что сферическое тѣло, лежащее на горизонтальной плоскости, можетъ быть приведено въ движеніе силой, которая могла бы только разрѣзать воздухъ, и какъ на причину этого онъ ошибочно указывалъ на малость точки соприкосновенія *). Самой общей ошибкой ученыхъ этого періода было то, что они предполагали, будто сила, движущая тѣло, должна дѣйствовать на него постоянно и есть ни что иное какъ постоянное прибавленіе во время движенія тѣла той же самой силы, которая съ самаго начала привела тѣло въ движеніе. Все то, что Кеплеръ называлъ своимъ «физическимъ» основаніемъ, зависѣло отъ этого положенія. Онъ старался открыть силы, которыя производятъ движеніе планетъ вокругъ солнца; но при этомъ онъ смотрѣлъ на движеніе планетъ какъ на произведеніе и результатъ силы, которая дѣйствуетъ по направленію ихъ движенія. Попытки Кеп-

*) Говоря о силѣ, которая движетъ тѣло по наклонной плоскости, онъ замѣчаетъ, что для совершенно горизонтальной плоскости эта сила «per communem animi sententiam» не существуетъ.



лера, въ этомъ отношеніи столь слабыя и неоснователыныя, считались иногда, какъ зародыши и даже предуказанія ньютоновскаго открытія существованія закона центральныхъ силъ; но это несправедливо, и въ дѣйствительности между положеніями Ньютона и Кеплера нѣтъ никакой другой связи, кромѣ той, что эти два писателя употребляли слово сила въ двухъ совершенно различныхъ значеніяхъ. По Кеплеру силы суть воображаемыя качества, обнаруживающіяся въ дѣйствительномъ движеніи, которое имѣютъ тѣла; а по Ньютону силы суть причины, которыя выражаются только тѣмъ, что измѣняютъ движеніе. По Кеплеру силы движутъ тѣло по направленію впередъ, а по Ньютону силы уклоняютъ движеніе тѣлъ отъ этого направленія. Еслибы силы Кеплера уничтожились, то тѣло мгновенно остановилось бы въ своемъ движеніи; а еслибы уничтожились силы Ньютона, то тѣло пошло бы впередъ равномѣрно по прямой линіи. Кеплеръ сравниваетъ движеніе своихъ силъ съ круговымъ движеніемъ тѣла, помѣщеннаго между крыльями вѣтряной мельницы, а силы Ньютона можно сравнить съ веревкой, тянущей тѣло къ центру. Силы по Ньютону скорѣе суть взаимныя притяженія, между тѣмъ какъ силы по Кеплеру суть нѣчто совершенно различное отъ взаимнаго притяженія; потому что хотя онъ постоянно объясняетъ свои воззрѣнія примѣромъ магнита, но при этомъ напоминаетъ, что солнце отличается отъ магнита въ томъ отношеніи, что сила его не притягательная, но только направительная *). Попытки Кеп-

*) Epiome Astron Copern. p. 176.

лера съ большей основательностью могутъ быть названы предуказаніемъ «вихрей» Декарта, но ни въ какомъ случаѣ ихъ нельзя назвать предуказаніемъ динамической теоріи Ньютона.

Смѣшеніе понятій, препятствовавшее математикамъ видѣть разницу между произведеніемъ движенія и поддержаніемъ того же движенія, было фатально для попытокъ и успѣховъ относительно этого предмета. Мы уже говорили о томъ затрудненіи, въ которое поставилъ себя Аристотель, когда старался найти причину, почему камень движется и послѣ того, какъ на него перестала дѣйствовать движущая сила, и приписывалъ это дѣйствію воздуха или другой среды, въ которой движется камень. Тарталеа, котораго Nuova Scienza явилась въ 1550 г., хотя былъ хорошимъ чистымъ математикомъ, но все-еще оставался во мракѣ относительно предметовъ механики. Въ упомянутомъ его сочиненіи (Кн. I, полож. 3) находится такое положеніе: «чѣмъ болѣе тяжелое тѣло удаляется отъ исходной точки своего насильственнаго движенія, или чѣмъ ближе подходитъ къ концу его, тѣмъ медленнѣе и тише оно движется»; и это положеніе онъ тотчасъ же примѣняетъ къ движенію горизонтально брошенныхъ тѣлъ. Подобнымъ образомъ и многіе другіе писатели этого періода думали, что пушечное ядро летитъ впередъ до тѣхъ поръ, пока не потеряетъ всей силы движенія, и затѣмъ по прямой линіи падаетъ внизъ. Бенедетти, о которомъ мы уже упоминали, можетъ быть названъ однимъ изъ первыхъ основательныхъ противниковъ этой, равно какъ и другихъ аристотелевскихъ ошибокъ или фантазій. Въ своей Speculationum liber (Венеція 1581) онъ опро-

вергаетъ механическія мнѣнія Аристотеля съ большимъ уваженіемъ къ нему, но очень поверхностно. XXIV глава его сочиненія озаглавлена такимъ образомъ: «правъ ли былъ этотъ знаменитый человѣкъ въ своемъ мнѣніи о насильственномъ и естественномъ движеніи». И приведши указанныя выше мнѣнія Аристотеля, что брошенное тѣло удерживается въ движеніи воздухомъ, онъ говоритъ, что воздухъ скорѣе долженъ останавливать, чѣмъ поддерживать движеніе тѣла, и что *) движеніе тѣла, когда на него перестала дѣйствовать движущая сила, происходитъ отъ нѣкотораго естественнаго расположенія къ стремительности (ex impetuositate), которое оно получаетъ отъ двигателя. Онъ прибавляетъ, что при естественныхъ движеніяхъ эта стремительность постоянно возрастаетъ, потому что постоянно продолжаетъ дѣйствовать причина его, т. е. стремленіе тѣла идти къ мѣсту, указанному для него природой, и что такимъ образомъ скорость возрастаетъ по мѣрѣ того, чѣмъ дальше подвигается тѣло отъ своей исходной точки къ этому мѣсту. Эти разсужденія показываютъ, что онъ ясно понималъ причину ускореннаго движенія, которую самъ Галилей такъ долго искалъ.

Хотя Бенедетти былъ такимъ образомъ уже на пути къ первому закону движенія, состоящему въ томъ, что всякое движеніе совершается равномѣрно и прямолинейно до тѣхъ поръ, пока не подѣйствуетъ на него какая-нибудь другая посторонняя сила; однако этотъ законъ не былъ обобщенъ и удовлетвори-

*) стр. 184.



тельно доказанъ, пока не были изучены другіе законы движенія, которыми управляется дѣйствіе силъ. Такимъ образомъ хотя частное пониманіе этого принципа и предшествовало открытію другихъ законовъ движенія, однако мы должны отнести твердое установленіе этого принципа къ тому періоду, когда были открыты и доказаны всѣ эти законы, т. е. къ періоду Галилея и его послѣдователей.

ГЛАВА II.

Индуктивная эпоха Галилея. — Открытіе законовъ движенія въ простыхъ случаяхъ.

---

§ 1. Установленіе перваго закона движенія.

После того какъ математики начали сомнѣваться въ авторитетѣ Аристотеля, или даже совсѣмъ отвергать его, они еще не скоро пришли къ заключенію, что раздѣленіе движенія на естественное и насильственное совершенно неосновательно; что скорость движенія тѣла увеличивается или уменьшается отъ дѣйствія внѣшнихъ причинъ, а не отъ какого-нибудь свойства самаго движенія, и что тотъ повидимому всеобщій фактъ, что тѣло движется все медленнѣе и медленнѣе какъ будтобы вслѣдствіе своего собственнаго расположенія, пока оно наконецъ не остановится, почему и движеніе названо было насильственнымъ,—происходитъ отъ дѣйствія внѣшнихъ препятствій незамѣтныхъ прямо, напр. отъ тренія и сопротивленія воздуха, когда шаръ катится по землѣ, или отъ дѣйствія тяжести, когда онъ падаетъ внизъ. Но они дошли наконецъ до той истины, что такими причинами можно объяснить все

уменьшеніе скорости, какое испытываютъ движущіяся тѣла, когда они повидимому предоставлены только самимъ себѣ; а что безъ этихъ причинъ движеніе тѣлъ продолжалось бы вѣчно по прямой линіи и съ равномѣрной скоростью.

Трудно сказать, кто первый высказалъ этотъ законъ въ общей формѣ; но его точная, или приблизительная истина предполагалась необходимой или доказанной при всѣхъ подробныхъ изслѣдованіяхъ о законахъ движенія падающихъ тѣлъ и тѣлъ брошенныхъ такъ, что они описываютъ при паденіи кривыя. Галилей [3]) въ своей первой попыткѣ разрѣшить проблему падающихъ тѣлъ не довелъ свой анализъ до понятія о силѣ и такимъ образомъ этотъ законъ не могъ быть тогда установленъ. Въ 1604 г. онъ имѣлъ еще ошибочное понятіе объ этомъ предметѣ; и мы не знаемъ, когда онъ дошелъ до вѣрнаго понятія, которое онъ изложилъ въ своемъ «Discorso» въ 1638 г. Въ третьемъ изъ этихъ діалоговъ онъ приводитъ примѣръ воды, заключенной въ сосудѣ для доказательства того, что кругообразное движеніе тоже имѣетъ стремленіе продолжаться постоянно. Въ своемъ первомъ Діалогѣ о коперниковой системѣ *), напечатанномъ въ 1630 г., онъ утверждаетъ, что кругообразное движеніе по природѣ своей равномѣрно, и удерживаетъ еще раздѣленіе движенія на естественное и насильственное. Наконецъ въ своихъ Діалогахъ о механикѣ, напечатанныхъ въ 1638 г., но написанныхъ вѣроят-

*) Dial. i. p. 40.



но раньше, въ трактатѣ о брошенныхъ тѣлахъ *) онъ устанавливаетъ вѣрный законъ: «Mobile super planum horisontale projectum mente concipio omni secluso impedimento, jam constat ex his, quae fusius alibi dicta sunt, illius motum aequabilem et perpetuum super ipso plano futurum esse, si planum in infinitum extendatur.» «Я представляю себѣ въ умѣ тѣло, брошенное по горизонтальной плоскости, съ устраненіемъ всѣхъ препятствій; изъ того, что̀ въ своемъ мѣстѣ будетъ объяснено подробнѣе, видно, что движеніе этого тѣла на этой плоскости будетъ равномѣрно и безконечно, если бы то̀лько самую плоскость можно было растянуть въ безконечность.» Ученикъ его Борелли въ 1667 г. въ трактатѣ «De vi percussionis» высказываетъ такое общее положеніе, что «скорость по природѣ своей равномѣрна и безконечна», и это мнѣніе было въ то время общепринято, какъ мы видимъ это у Валлиса и другихъ. Обыкновенно говорятъ, что Декартъ первый сдѣлалъ это обобщеніе закона. Его «Principia» были напечатаны въ 1644 г.; но его доказательства этого перваго закона движенія скорѣе можно назвать теологическими, чѣмъ механическими. Въ самомъ дѣлѣ, въ доказательство этого закона онъ приводитъ **) «неизмѣнность и простоту операцій, которыми Богъ сохраняетъ движеніе въ матеріи; такъ какъ онъ поддерживаетъ движеніе именно въ такомъ видѣ, въ какомъ оно было въ тотъ моментъ, когда онъ начинаетъ поддерживать его, несмотря на то, какимъ оно было прежде.» Такое отвлеченное и апріористическое доказательство, хотя оно и можетъ быть

*) p. 141. **) Princip. p. 34.



приведено въ пользу вѣрныхъ мнѣній, послѣ того, какъ они установлены индуктивно, можетъ однако легко повести къ заблужденію, какъ это мы видѣли на примѣрѣ аристотелевской философіи. Но не должно однако забывать при этомъ, что подобныя отвлеченныя и апріористическія доказательства служатъ указаніями на абсолютную всеобщность и необходимость, къ которымъ мы стремимся въ совершенныхъ наукахъ, и составляютъ результатъ тѣхъ способностей, которыя дѣлаютъ такія науки возможными и годными для умственной природы человѣка.

Индукція, посредствомъ которой былъ открытъ первый законъ движенія, состоитъ, какъ и всякая вообще индукція, въ ясномъ пониманіи закона и въ умѣньи подвести наблюдаемые факты подъ этотъ законъ. Но законъ говоритъ только о тѣлахъ, на которыя не дѣйствуетъ никакая внѣшняя сила,—чего никогда не бываетъ на дѣлѣ; и трудность дальнѣйшаго шага впередъ заключалась въ томъ, чтобы всѣ причины, которыя постепенно останавливаютъ движеніе, соединить въ одно понятіе о замедляющей силѣ. Чтобы достигнуть этого, Гукъ и другіе показали, что съ уменьшеніемъ внѣшнихъ препятствій замедленіе движенія становится меньше, и ученые постепенно дошли до раздѣльнаго понятія о сопротивленіи, треніи и т. д., которыя во всѣхъ земныхъ движеніяхъ препятствуютъ закону движенія проявляться съ очевидностью и такимъ образомъ они опытно доказали законъ, который не могъ быть указанъ въ опытѣ въ полномъ дѣйствіи. Естественная равномѣрность движенія была доказана изученіемъ всѣхъ случаевъ, въ которыхъ движеніе бы-

ваетъ неравномѣрно. Всеобщее правило было извлечено изъ конкретнаго эксперимента; хотя это правило могло быть извлечено изъ опыта только тогда, когда были извѣстны всѣ другія. Совершенная простота, которой мы необходимо ищемъ въ законѣ природы, даетъ намъ возможность разложить ту сложность, какую представляетъ намъ при первомъ взглядѣ комбинація многихъ причинъ. Первый законъ движенія гласитъ, что движеніе тѣла, когда оно предоставлено самому себѣ, нетолько равномѣрно, но еще прямолинейно. Эта послѣдняя часть закона очевидна сама по себѣ, какъ скоро мы представимъ себѣ, что тѣло устранено отъ всякихъ вліяній на него внѣшнихъ точекъ и предметовъ. Галилей, какъ мы видѣли, утверждалъ, что естественное равномѣрное движеніе тѣлъ есть только кругообразное движеніе. Однако Бенедетти, еще въ 1585 г., имѣлъ болѣе основательныя мнѣнія объ этомъ. Комментируя вопросъ Аристотеля, почему мы можемъ бросить дальше камень посредствомъ бросательной машины, онъ говоритъ *), что тѣло, хотя оно бросается машиной и по круговой линіи, тѣмъ неменѣе имѣетъ стремленіе летѣть прямо. Во второмъ своемъ Діалогѣ, Галилей заставляетъ одного изъ разговаривающихъ, именно Симплиція, спрошеннаго объ этомъ предметѣ, высказать то же самое мнѣніе послѣ нѣкотораго размышленія; и съ тѣхъ поръ этотъ принципъ былъ принятъ всѣми авторами, писавшими о движеніи брошенныхъ тѣлъ. Декартъ, какъ можно

*) Corpus vellet recta iter peragere. Speculationum liber, pag. 160.



догадаться напередъ, приводитъ для этого то же самое доказательство, какъ и для второй части разсматриваемаго нами закона, именно неизмѣняемость божества.

§ 3. Образованіе и приложеніе понятія объ ускоряющей силѣ. — Законъ падающихъ тѣлъ.

Мы видѣли, какъ грубы и неопредѣленны были попытки Аристотеля и его послѣдователей, предпринимавшіяся ими для составленія теоріи падающихъ внизъ тѣлъ, или брошенныхъ въ какомъ-нибудь другомъ направленіи. Еслибы они ясно понимали первый законъ движенія, тогда они быть можетъ увидали бы, что для пониманія и анализа движенія тѣла необходимо разсмотрѣть причины, которыя измѣняютъ это движеніе въ каждое мгновеніе; и такимъ образомъ они были бы доведены до понятія объ ускоряющихъ силахъ, т. е. силахъ, которыя дѣйствуютъ на тѣла, уже находящіяся въ движеніи, и ускоряютъ, замедляютъ или уклоняютъ въ сторону ихъ движеніе. Но ученые дошли до этого представленія только послѣ многихъ попытокъ. Они начали разсматривать цѣлое движеніе съ точки зрѣнія нѣкоторыхъ отвлеченныхъ и неправильно составленныхъ понятій, вмѣсто того, чтобы наоборотъ сначала разсматривать отдѣльныя части, изъ которыхъ состоитъ движеніе и при этомъ ясно представлять себѣ причины его. Такимъ образомъ они говорили о стремленіи тѣлъ къ центру, или къ указанному имъ природой мѣсту, о бросающей силѣ, о стремительности, отталкиваніи и т. д.; но все это

мало приносило пользы наукѣ, или даже вовсе не приносило. О неясности ихъ понятій можно судить по ихъ разсужденіямъ о брошенныхъ тѣлахъ. Сантбахъ*) въ 1561 г. воображалъ, что тѣло, брошенное съ большой скоростью, напримѣръ ядро изъ пушки, летитъ по прямой линіи до тѣхъ поръ, пока не потеряетъ всей своей скорости, и затѣмъ падаетъ внизъ. Онъ написалъ трактатъ объ артиллеріи, основанный на этомъ нелѣпомъ мнѣніи. Это мнѣніе смѣнилось другимъ, которое хотя было такъ же не философично, какъ и первое, однако лучше согласовалось съ явленіями. Николо Тарталеа (Nuova Scienza, Venize 1550. Quesiti et inventioni, Diversi 1554) и Гвалтье Ривіусъ (Architectura, Basil. 1582) представляли себѣ, что путь, пробѣгаемый пушечнымъ ядромъ, состоитъ во-первыхъ изъ прямой линіи, выражающей направленіе, по которому оно брошено; затѣмъ изъ дуги круга, по которой оно летитъ до тѣхъ поръ, пока его движеніе не сдѣлается вертикальнымъ; и наконецъ изъ вертикальной линіи, по направленію которой оно падаетъ на землю. Второй изъ этихъ писателей думалъ однако, что путь ядра съ самаго начала есть кривая; но онъ считалъ ее прямой линіей, потому что кривизна ея весьма мала. Даже Сантбахъ представлялъ себѣ, что путь ядра постепенно наклоняется внизъ прежде чѣмъ оно упадетъ, но оно опускается не въ видѣ кривой, а въ видѣ ломанной линіи, какъ-бы ступенями. Кромѣ того

---

*) Problematum Astronomicorum et Geometricorum Sectiones VII. Auctore Daniele Santbach, Noviomago. Basileae 1561.



Сантбахъ не зналъ еще о соединеніи дѣйствія тяжести съ даннымъ движеніемъ, но предполагалъ, что они дѣйствуютъ поперемѣнно, между тѣмъ какъ Ривіусъ вѣрно понималъ это соединеніе и представлялъ, что тяжесть должна дѣйствовать какъ уклоняющая сила на всякую точку пути ядра. Галилей въ своемъ второмъ Діалогѣ *) влагаетъ въ уста Симплиція такое же самое заключеніе. «Такъ какъ,—говоритъ онъ,—ничто не поддерживаетъ тѣла послѣ того, какъ на него перестала дѣйствовать бросившая его сила, то затѣмъ на него должна дѣйствовать его собственная тяжесть и оно должно непосредственно съ самаго же начала наклоняться внизъ.»

Сила тяжести, которая производитъ уклоненіе и кривизну пути тѣла, брошеннаго наклонно, должна постоянно увеличивать скорость тѣла, когда оно падаетъ вертикально внизъ. Это увеличеніе при всѣхъ паденіяхъ было очевидно какъ по соображеніямъ, такъ и по даннымъ опытамъ; но законъ увеличенія скорости могъ быть открытъ только при посредствѣ новыхъ наблюденій и открытій; и полный анализъ проблемы требовалъ опредѣленной мѣры для измѣренія количества ускоряющей силы. Галилей, разрѣшивъ эту проблему, сначала смотрѣлъ на нее какъ на вопросъ опыта, но основалъ свое рѣшеніе на предположеніи, что искомый законъ долженъ быть возможно простъ. «Тѣла,—говоритъ онъ **),—падаютъ самымъ простымъ образомъ, потому что естественныя движенія вездѣ самыя простыя. Когда падаетъ камень, то мы при

*) p. 147. **) Dial. Sc. VI, p. 91.

внимательномъ разсмотрѣніи дѣла найдемъ, что самый простѣйшій способъ прибавить или увеличить скорость его есть тотъ, когда она увеличивается во всѣ моменты одинаковымъ образомъ, т. е. когда равныя увеличенія совершаются въ равныя времена, что мы легко поймемъ, если обратимъ вниманіе на связь между движеніемъ и временемъ.» Изъ этого закона, понимаемаго такимъ образомъ, онъ вывелъ, что пространства, проходимыя падающими тѣлами, должны относиться между собой какъ квадраты временъ, и затѣмъ, предполагая, что законы опусканія тѣлъ по наклонной плоскости должны быть тѣ же самые, что и законы для свободно падающихъ тѣлъ, онъ подтвердилъ это заключеніе опытомъ.

Можетъ быть читателю покажется не надежнымъ этотъ аргументъ, основанный на предполагаемой простотѣ искомаго закона. Намъ не всегда легко рѣшить, какова самая большая простота, допускаемая природой въ ея законахъ. Даже самъ Галилей этимъ путемъ воззрѣнія на предметъ доведенъ былъ до ложнаго заключенія, прежде чѣмъ попасть на истинный путь. Сначала онъ предполагалъ, что скорость, которую пріобрѣло тѣло въ какой-нибудь точкѣ своего пути, пропорціональна пространству, пройденному имъ отъ точки начала движенія. Этотъ ложный законъ также простъ, какъ и вѣрный законъ, что скорость пропорціональна времени; тѣмъ неменѣе онъ ложенъ, хотя его и считали вѣрнымъ Варро (Tractatus de motu, Женева 1584) и Балліани, женевскій дворянинъ, напечатавшій его въ 1638 г. Но онъ былъ тотчасъ же отвергнутъ Галилеемъ, хотя его и потомъ еще при-

нималъ и защищалъ Касреусъ, одинъ изъ противниковъ Галилея. Хорошо еще, что этотъ ложный законъ находится въ противорѣчіи нетолько съ опытомъ; но и съ самимъ собой. Но это было дѣло случая: можно было бы легко выдумать законы увеличенія скорости, которые были бы просты, но не согласны съ фактами. хотя бы и не заключали противорѣчій съ самими собой.

Законъ Скорости разсматривался до сихъ поръ, какъ мы видѣли, только какъ законъ явленій, безъ всякаго отношенія къ причинамъ закона. «Причина ускоренія движенія падающихъ тѣлъ,—замѣчаетъ Галилей,—не есть необходимая часть ученаго изслѣдованія. Мнѣнія о ней различны. Одни видятъ эту причину въ приближеніи къ центру, другіе говорятъ, что существуетъ распространенная по землѣ какая-то центральная среда, которая, сходясь сзади тѣла, толкаетъ его впередъ. Въ настоящемъ случаѣ намъ достаточно только показать нѣкоторыя свойства Ускореннаго Движенія и знать, что ускореніе совершается по тому весьма простому закону, что Скорость пропорціональна Времени, и еслибы мы нашли, что свойства такого движенія подтверждаются опытомъ, мы могли бы тогда думать, что наше предположеніе согласно съ законами самой природы.» *)

И однако легко узнать, что это ускореніе происходитъ отъ постояннаго дѣйствія Тяжести. Такое объясненіе, какъ мы видѣли, и сдѣлано было Бенедетти. Когда было признано, что тяжесть есть сила постоян-

*) Gal. Op. III, 91, 92.

ная и равномѣрная, то съ этимъ согласились какъ приверженцы закона Галилея, такъ и приверженцы Касреуса; но возникалъ вопросъ, что такое Равномѣрная Сила? Отвѣтъ Галилея на этотъ вопросъ былъ тотъ, что равномѣрная сила есть та, которая производитъ равныя скорости въ равныя послѣдовательныя времена, и этотъ принципъ тотчасъ же привелъ къ заключенію, что силы могутъ быть сравниваемы между собой посредствомъ сравненія скоростей, производимыхъ ими въ равныя времена.

Хотя это было естественное слѣдствіе изъ того правила, по которому тяжесть представлялась какъ равномѣрная сила, однако предметъ этотъ на первый взглядъ представлялъ нѣкоторыя трудности. Намъ не вдругъ кажется очевиднымъ, что мы можемъ измѣрять силы скоростью, которая прибавляется въ каждое мгновеніе, не принимая въ разсчетъ скорости, какую тѣло уже прежде имѣло. Если мы напр. сообщаемъ тѣлу скорость рукой или пружиной, то эффектъ, который мы производимъ въ секунду времени, будетъ меньше, если тѣло уже прежде имѣло очень большую скорость, которая унесетъ его или такъ сказать избавитъ отъ давленія пружины. Но очевидно, что тяжесть дѣйствуетъ иначе; скорость, прибавляемая ею въ каждую секунду одинакова, какое бы движеніе ни имѣло тѣло до этого. Тѣло, начинающее падать, пріобрѣтаетъ въ одну секунду, скорость въ 32 фута, и еслибы пушечное ядро вылетѣло изъ пушки отвѣсно со скоростью 1000 футовъ въ секунду, то и оно также къ концу первой секунды получило бы къ этой скорости прибавленіе въ 32 фута.

Это воззрѣніе на тяжесть, какъ на равномѣрную силу, постоянно и равномѣрно увеличивающую скорость Падающаго Тѣла, дѣлается яснымъ при малѣйшемъ вниманіи; но конечно съ перваго раза оно кажется труднымъ. Поэтому мы видимъ, что даже Декартъ[4]) не принялъ этого воззрѣнія. «Очевидно,—говоритъ онъ,—что камень не одинаково расположенъ принимать новое движеніе или увеличивать свою скорость, какъ въ то время, когда онъ движется весьма скоро, такъ и въ то время, когда онъ движется тихо.»

Въ другомъ мѣстѣ Декартъ употребилъ выраженіе, которое показываетъ, что онъ не имѣлъ вѣрнаго понятія объ Ускоряющей Силѣ. Такъ въ письмѣ къ Мерсену онъ говоритъ: «Меня удивило, когда вы сказали мнѣ, что вы посредствомъ опытовъ нашли, что тѣла, брошенныя наверхъ въ воздухъ, употребляютъ для поднятія наверхъ не больше и не меньше времени, чѣмъ сколько они употребляютъ его для паденія съ высоты, до которой они поднялись, опять внизъ; и вы извините меня, если я скажу вамъ, что опыты подобнаго рода трудно сдѣлать съ точностью.» Однакоже изъ понятія о постоянной силѣ слѣдуетъ, что это равенство времени дѣйствительно существуетъ, если не принимать въ разсчетъ сопротивленіе воздуха; потому что сила, которая постепенно уничтожитъ наконецъ въ извѣстное время всю скорость поднимающагося тѣла, въ тоже самое время произведетъ опять ту же самую скорость только въ обратной градаціи; и такимъ образомъ одно и то же пространство будетъ пройдено въ одно и то же время, какъ при полетѣ

тѣла вверхъ, такъ и при обратномъ паденіи его внизъ.

Еще другая трудность возникаетъ изъ необходимаго слѣдствія, вытекающаго изъ законовъ паденія тѣлъ; это слѣдствіе состоитъ въ томъ, что Движущееся Тѣло проходитъ во время своего движенія чрезъ всѣ промежуточныя ступени скорости, отъ самой малой и едва замѣтной до самой большой, какую оно пріобрѣтаетъ наконецъ. Когда тѣло выходитъ изъ покоя, то въ тотъ самый моментъ, когда начинается его движеніе, оно еще не имѣетъ никакой скорости; скорость возрастаетъ съ временемъ; и въ $^1/_{1000}$ часть секунды тѣло пріобрѣло только $^1/_{1000}$ часть той скорости, которую оно имѣетъ къ концу секунды.

Это ясно и очевидно изъ простаго соображенія; однако съ перваго раза многіе не могли представить этого ясно и вслѣдствіе этого возникли большіе споры о томъ, какова бываетъ скорость въ то время, когда тѣло только-что начинаетъ падать. Объ этомъ предметѣ и Декартъ не имѣлъ яснаго понятія. Онъ пишетъ своему другу: «Я пересмотрѣлъ мои замѣчанія о Галилеѣ, въ которыхъ я не говорилъ прямо, что падающія тѣла не проходятъ чрезъ всѣ Степени Скорости, но сказалъ только, что этого нельзя знать, не зная напередъ, что́ такое Вѣсъ,—что̀ одно и тоже. Что касается вашего примѣра, то я соглашаюсь, что онъ доказываетъ, что каждая степень скорости дѣлима до безконечности, но не доказываетъ, что падающее тѣло дѣйствительно проходитъ чрезъ всѣ эти дѣленія.»

Когда принципы движенія падающихъ тѣлъ были такимъ образомъ установлены Галилеемъ, то выводъ

изъ нихъ главныхъ математическихъ послѣдствій совершился, какъ это бываетъ обыкновенно, весьма быстро; и эти выводы находятся въ его сочиненіяхъ и въ сочиненіяхъ его учениковъ и послѣдователей. Но все-еще движеніе тѣлъ свободно падающихъ было соединяемо съ движеніями тѣлъ падающихъ по наклонной плоскости, о теоріи которой мы еще скажемъ здѣсь нѣсколько словъ.

Однажды составленное понятіе объ Ускоряющей Силѣ и ея дѣйствіяхъ естественно приложено было и къ другимъ случаямъ, кромѣ свободно падающихъ тѣлъ. Различіе въ скорости, съ какой падаютъ Легкія и Тяжелыя тѣла, было объяснено различнымъ Сопротивленіемъ воздуха, который уменьшаетъ ускоряющую силу *), и даже высказано было смѣло то положеніе, что въ Безвоздушномъ Пространствѣ клочекъ бумаги и кусокъ свинца должны падать съ одинаковой скоростью. Также было установлено **), что при паденіи тѣла, какъ бы велико и тяжело оно ни было, скорость его уменьшается отъ вліянія воздуха, чрезъ который оно падаетъ, и наконецъ оно можетъ быть доведено до Равномѣрнаго Движенія, какъ скоро сопротивленіе, дѣйствующее вверхъ, становится равнымъ ускоряющей силѣ, дѣйствующей внизъ. Хотя законъ достиженія тѣла до этой Конечной Скорости не могъ быть разъясненъ до тѣхъ поръ, пока не явились Principia Ньютона; однако взгляды, на которыхъ Галилей установилъ это положеніе, совершенно основа-

---

*) Galileo, III, 43. **) Ibid. III, 54.

тельны и показываютъ, что онъ ясно понималъ свойства и дѣйствія ускоряющей и замедляющей силы.

Когда разъяснены были такимъ образомъ Равномѣрно-ускоряющія Силы, тогда оставались только математическія трудности для изслѣдованія Измѣняющихся Силъ. Такъ какъ измѣняющаяся сила была уже измѣряема малѣйшими частичками или Предѣлами (дифференціалами) Скорости, сравниваемой съ малѣйшими частичками Времени, то естественно было и измѣняющуюся скорость измѣрять малѣйшими частичками пространства въ сравненіи съ такими же частичками времени.—(Подъ словомъ скорость разумѣется пространство, проходимое тѣломъ, раздѣленное на время, въ которое тѣло проходитъ его. Пока на тѣло, находящееся уже въ движеніи, не дѣйствуетъ еще никакая сила, это отношеніе пространства къ времени остается постояннымъ, т. е. тѣло идетъ по закону инерціи или косности все съ одинаковой скоростью и въ одномъ прямолинейномъ направленіи. Но если скорость движущагося тѣла претерпѣваетъ измѣненіе, то это бываетъ только вслѣдствіе какой-нибудь новой дѣйствующей на него силы; и можно условиться измѣненіе этой скорости считать за одно съ самою ускоряющей силой, такъ что тогда эта ускоряющая сила будетъ равна измѣненію скорости тѣла, раздѣленному на время, въ которое произошло это измѣненное движеніе. Но такъ какъ это измѣненіе пространства и скорости, какъ и самаго времени, должно происходить, какъ видно изъ предъидущаго, въ каждое мгновеніе пока движется тѣло, то для того, чтобы имѣть въ виду эти постоянныя измѣненія, нужно обращать вниманіе на малѣйшія частички, предѣлы или такъ-называе-

мые дифференціалы этихъ трехъ величинъ; и этимъ-то способомъ произошли слѣдующія два основныя положенія для движенія, на которыхъ утверждается вся механика: I) скорость выражается дифференціаломъ пространства, раздѣленнымъ на дифференціалъ времени и II) ускоряющая сила выражается дифференціаломъ скорости, раздѣленнымъ на дифференціалъ времени, или—что на языкѣ математическаго анализа одно и тоже, такъ какъ дифференціалъ времени по природѣ своей неизмѣненъ—сила равна второму дифференціалу пространства, раздѣленному на квадратъ дифференціала времени.—*Литтровъ*).

Съ этимъ введеніемъ понятія о Безконечно Малыхъ Частяхъ, или Дифференціалахъ пространства и времени, мы естественно вступаемъ въ область Высшей Геометріи въ ея геометрической и аналитической формѣ. Общіе законы паденія тѣлъ, при дѣйствіи измѣняющейся силы, представлены Ньютономъ въ VII отдѣлѣ его «Principia». Этотъ предметъ, такъ какъ Ньютонъ отдавалъ предпочтеніе математическому методу, обработанъ имъ посредствомъ Квадратуры Кривыхъ Линій, послѣ того, какъ онъ раньше въ I-мъ отдѣлѣ этого сочиненія изложилъ отдѣльно ученіе о безконечно малыхъ частицахъ измѣняющихся величинъ, или о предѣлахъ ихъ, чтобы потомъ въ VII отдѣлѣ приложить ихъ къ законамъ паденія. Лейбницъ, Бернулли, Эйлеръ и послѣ нихъ многіе другіе математики рѣшили эти вопросы посредствомъ чисто аналитическаго метода, посредствомъ такъ-называемаго Дифференціальнаго Исчисленія. Прямолинейное движеніе тѣлъ, производимое измѣняющимися силами, есть конечно болѣе простая

проблема, чѣмъ ихъ Криволинейное Движеніе, къ которому мы теперь должны обратиться. Но прежде всего нужно замѣтить, что Ньютонъ, установивъ законы криволинейнаго движенія самостоятельно въ большей части VII отдѣла своего сочиненія, остроумно и глубокомысленно вывелъ изъ нихъ, какъ изъ болѣе сложной проблемы, прямолинейное движеніе, какъ простой случай.

§ 3. Установленіе втораго закона движенія. — Криволинейныя движенія.

Уже небольшой степени отчетливости въ механическихъ понятіяхъ людей было достаточно для того, чтобы они пришли къ заключенію, что тѣло, которое описываетъ Кривую Линію, должно быть побуждаемо къ тому какой-нибудь силой, которая постоянно заставляетъ его уклоняться отъ прямолинейнаго пути, по которому бы оно двигалось, еслибы на него не дѣйствовала эта сила. Такимъ образомъ, если тѣло описываетъ Кругъ, какъ напр. камень въ бросательной машинѣ, или пращѣ, оборачиваемой кругомъ, то мы видимъ, что эту силу на камень производитъ веревка, потому что веревка натягивается отъ усилія и если она слаба, то можетъ даже лопнуть. Центробѣжная Сила тѣлъ, движущихся кругообразно, была извѣстна еще древнимъ. Дѣйствіе силы, производящей криволинейныя движенія, обнаруживается намъ и въ путяхъ, описываемыхъ Брошенными Тѣлами. Мы уже видѣли, что хотя Тарталеа и не понималъ этого ясно, но Ривіусъ въ тоже время очень ясно понялъ это.

То открытіе, что сила, дѣйствующая на тѣло со стороны, производитъ движеніе по кривой линіи, было первымъ шагомъ; ближайшее опредѣленіе этой кривой линіи было вторымъ шагомъ ,который заключалъ въ себѣ возможность открытія втораго закона движенія. Этотъ шагъ былъ сдѣланъ Галилеемъ. Въ своемъ Діалогѣ о движеніи онъ утверждаетъ, что тѣло, брошенное горизонтально, удерживаетъ равномѣрное движеніе въ горизонтальномъ направленіи и въ тоже время, въ соединеніи съ этимъ движеніемъ, имѣетъ равномѣрно ускоренное движеніе внизъ, подобное движенію тѣла, брошеннаго вертикально, и такимъ образомъ подъ вліяніемъ этихъ двухъ силъ оно описываетъ кривую, которая называется Параболой.

Второй законъ движенія и есть это самое положеніе только въ общей формѣ, а именно: во всѣхъ случаяхъ движеніе, которое производитъ сила, соединяется съ тѣмъ движеніемъ, которое уже прежде имѣло тѣло. Это положеніе не очевидно съ перваго раза; потому что наприм. Карданъ *) утверждалъ, что если тѣло движется двумя движеніями заразъ, то оно придетъ къ мѣсту, къ которому движутъ его оба эти движенія, гораздо медленнѣе, чѣмъ еслибы на него дѣйствовало одно изъ этихъ движеній. По воззрѣнію Галилея доказательствомъ истинности втораго закона, насколько это можно видѣть изъ его Діалога, служитъ простота этого предположенія въ связи съ яснымъ представленіемъ причинъ, которыя во многихъ случаяхъ производятъ на практикѣ очевидное уклоненіе

*) Op. vol. IV, p. 940.



отъ теоретическаго результата, требуемаго закономъ. Потому что можно замѣтить, что Криволинейные Пути, которые ошибочно приписываютъ пушечнымъ ядрамъ Ривіусъ и Тарталеа и другіе слѣдовавшіе за ними писатели, также какъ Диксъ и Нортонъ въ Англіи, хотя и очень отличались отъ теоретически вычисленной формы, т. е. отъ параболы, однако на дѣлѣ они больше приближались къ фактическому пути пушечныхъ ядеръ, чѣмъ сама парабола. Это приближеніе зависитъ главнымъ образомъ отъ того обстоятельства, на которое уже указывала старая теорія и которое кажется нелѣпымъ по истинной теоріи, именно — оттого что ядро, которое поднимается въ наклонномъ положеніи, падаетъ внизъ вертикально. Вслѣдствіе сопротивленія воздуха, таковъ дѣйствительно и бываетъ путь брошенныхъ тѣлъ и если скорость очень велика, какъ это бываетъ въ пушечныхъ ядрахъ, то уклоненіе отъ параболической формы весьма замѣтно. Галилей замѣтилъ причину этого несогласія между теоріей, которая не принимала въ разсчетъ препятствій, и опытомъ и потому онъ говоритъ *), что скорости брошенныхъ тѣлъ въ такомъ случаѣ чрезвычайны и сверхъестественны. При должномъ вниманіи къ этимъ причинамъ, его теорія, какъ онъ и увѣрялъ, подтвердилась бы и въ ея приложеніи на практикѣ. Такія практическія приложенія ученія о брошенныхъ тѣлахъ дѣйствительно и содѣйствовали утвержденію истины галилеевыхъ взглядовъ. Однако мы не должны забывать, что все открытіе этого втораго закона дви-

*) Op. vol. III, p. 147.

женія было результатомъ теоретическихъ и практическихъ разсужденій о Движеніи Земли. Его судьба связана была съ судьбой коперниковой системы и онъ же раздѣлялъ тріумфъ этой системы. И дѣйствительно во время Галилея тріумфъ этотъ былъ уже рѣшителенъ; но онъ сдѣлался полнымъ только тогда, когда наступило время Ньютона.

§ 4. Обобщеніе законовъ равновѣсія. — Принципъ виртуальныхъ скоростей.

Было извѣстно еще во времена Аристотеля, что если двѣ тяжести, уравновѣшивающія одна другую на рычагѣ, начинаютъ двигаться, то онѣ движутся со скоростями обратно пропорціональными ихъ вѣсамъ. Характеристическая особенность греческаго языка, который можетъ выразить это отношеніе пропорціональности однимъ словомъ (ἀντιπέπονθεν), утвердила въ человѣческомъ умѣ это положеніе и содѣйствовала обобщенію этого свойства. Первыя попытки въ этомъ родѣ были сдѣланы безъ отчетливыхъ понятій и на основаніи однихъ догадокъ и потому не имѣли научнаго значенія. Это сужденіе мы должны примѣнить и къ книгѣ Іордана Немораріуса, о которомъ мы уже упоминали. Его разсужденія очевидно основаны на аристотелевыхъ принципахъ и обнаруживаютъ собой обыкновенный у аристотелевскихъ послѣдователей недостатокъ отчетливыхъ механическихъ понятій. Но у Варро, котораго «Tractatus de motu» явился въ 1584 г., мы находимъ принципъ въ общей формѣ, хотя неудовлетворительно доказанный, однако понятый очень отчетливо. Первая его теорема была такова: duarum

virium connexarum, quarum (si moveantur) motus erunt ipsis ἀντιπεπονθῶς proportionales, neutra altera movebit, sed equilibrium facient [изъ двухъ соединенныхъ силъ, движенія которыхъ (еслибы онѣ стали двигаться) будутъ обратно пропорціональны, ни одна не будетъ двигать другую, но установятъ Равновѣсіе]. Въ доказательство этого онъ указываетъ на то, что Сопротивленіе силѣ есть движеніе, произведенное ею же самою; и эта теорема, какъ мы видѣли, вѣрно примѣнялась къ объясненію дѣйствія клина. Съ этого времени кажется вошло въ обычай объяснять свойство машинъ посредствомъ этого принципа. Такъ напримѣръ это сдѣлано въ «Les raesons des forces mouventes», произведеніи Соломона Кауса, инженера пфальцскаго курфирста, явившемся въ Антверпенѣ въ 1616 г.; въ немъ при помощи этой же теоремы объясняется дѣйствіе Зубчатыхъ Колесъ, но ничего не говорится о наклонной плоскости. Тоже самое мы видимъ въ сочиненіи епископа Вилькинса «Mathematical Magic», 1648.

Когда установилось вѣрное понятіе о Наклонной Плоскости, тогда стали заниматься изученіемъ законовъ Равновѣсія для всѣхъ простыхъ машинъ или Механическихъ Силъ, которыя обыкновенно исчислялись въ книгахъ о Механикѣ; потому что легко было видѣть, что Клинъ и Винтъ заключаютъ въ себѣ тотъ же самый принципъ, какъ и Наклонная Плоскость, и Блокъ можетъ быть сведенъ къ Рычагу. Такимъ образомъ для человѣка, имѣвшаго ясныя механическія понятія, не трудно было увидѣть, какимъ образомъ всякая другая комбинація тѣлъ, на которыя дѣйствуетъ давленіе или

тянутіе, можетъ быть сведена на эти Простыя Машины, вслѣдствіе чего и разъяснилось бы отношеніе силъ. Такимъ образомъ открытіемъ Стевина существенно разрѣшались всѣ проблемы равновѣсія.

Основанное на догадкѣ обобщеніе свойствъ Рычага, о которомъ мы недавно упомянули, дало математикамъ возможность выразить разрѣшеніе всѣхъ относящихся сюда проблеммъ однимъ положеніемъ. Это положеніе они выразили такъ, что, поднимая тяжесть посредствомъ машины, мы теряемъ во Времени столько, сколько пріобрѣтаемъ въ Силѣ; поднимаемая тяжесть движется тѣмъ тише, чѣмъ больше она въ сравненіи съ силой. Все это съ большой ясностью было объяснено Галилеемъ въ предисловіи къ его трактату о наукѣ механики, появившемуся въ 1592 г.

Но движенія, о которыхъ мы предполагаемъ, что они совершаются въ отдѣльныхъ частяхъ машины, не суть движенія, которыя производятся силами; потому что въ настоящее время мы имѣемъ дѣло съ такими случаями, въ которыхъ силы уравновѣшиваютъ одна другую и такимъ образомъ не производятъ движенія. Но мы приписываемъ тяжестямъ и силамъ гипотетическія движенія, происходящія отъ другихъ причинъ, и такимъ образомъ при устройствѣ машинъ Скорости Тяжестей и Силъ должны имѣть между собой извѣстныя опредѣленныя отношенія. Эти скорости, предполагаемыя только гипотетически и не производимыя въ дѣйствительности, называются Виртуальными Скоростями. И общій законъ равновѣсія состоитъ въ томъ, что во всякой машинѣ тяжести, уравновѣшивающія одна другую, относятся между собой какъ ихъ

виртуальныя скорости. Это и называется Принципомъ Виртуальныхъ Скоростей.

Этотъ принципъ, который впослѣдствіи былъ обобщенъ еще больше, считается нѣкоторыми почитателями Галилея самой великой заслугой его въ механикѣ. Но если мы разсмотримъ его ближе, то увидимъ, что онъ не имѣетъ большой важности въ нашей исторіи. Онъ есть обобщеніе, но обобщеніе, основанное скорѣе на перечисленіи фактовъ, чѣмъ на индукціи, руководимой опредѣленной идеей, подобной тѣмъ обобщеніямъ фактовъ, которые прямо приводятъ къ открытію законовъ природы. Онъ служитъ скорѣе къ соединенію законовъ уже извѣстныхъ, чѣмъ къ открытію связи между ними: его скорѣе можно назвать вспомогательнымъ средствомъ для памяти, чѣмъ доказательствомъ для ума. Принципъ виртуальныхъ скоростей вовсе не заключаетъ въ себѣ какого-нибудь пріобрѣтенія ясныхъ механическихъ понятій, такъ что кто знаетъ свойство рычага, понимаетъ ли онъ его основаніе или нѣтъ, можетъ легко замѣтить, что большая тяжесть движется медленнѣе, и именно въ той пропорціи, въ какой она больше. Поэтому Аристотель, хотя у него, какъ мы показали, и не было основательныхъ механическихъ воззрѣній, уже замѣтилъ эту истину. Когда Галилей разсуждаетъ объ этомъ предметѣ, то онъ не представляетъ никакихъ доказательствъ, которыя могли бы самостоятельно установить этотъ принципъ, но только перечисляетъ нѣсколько аналогій и разъясненій, изъ которыхъ многія весьма неопредѣленны. Такимъ образомъ, напримѣръ, поднятіе большой тяжести малою силой онъ объясняетъ предполо-

женіемъ, что эта тяжесть разбита на многія маленькія частички, которыя потомъ поднимаются одна послѣ другой. Другіе писатели прибѣгали для объясненія принципа, о которомъ идетъ рѣчь, къ упомянутой уже аналогіи о Потерѣ и Пріобрѣтеніи. Такіе образы могутъ нравиться фантазіи, но не могутъ быть Механическими Доказательствами.

Поэтому, такъ какъ не Галилей первый высказалъ это положеніе и не онъ даже доказалъ его, какъ самостоятельный механическій принципъ, то мы и не можемъ считать открытіе этого положенія его заслугой въ механикѣ. Еще менѣе можемъ мы сравнивать этотъ принципъ съ доказательствомъ Стевина относительно наклонной площади, которое, какъ мы видѣли, было строго выведено изъ основательной аксіомы, что тѣло не можетъ привести само себя въ движеніе. Еслибы мы приняли дѣйствительную аксіому Стевина только потому, что обобщеніе Галилея недоказано, то мы подверглись бы опасности обречь себя на преемственное перебѣганіе отъ одной истины къ другой безъ основательной надежды достигнуть когда-либо чего-нибудь послѣдняго и основнаго.

Но хотя этотъ принципъ виртуальной скорости и не можетъ считаться великимъ открытіемъ Галилея, однако онъ есть въ высшей степени полезное правило, и различныя формы, въ которыхъ представлялъ его онъ и его послѣдователи, много содѣйствовали уничтоженію того тупаго удивленія, съ какимъ прежде смотрѣли на дѣйствіе машинъ, и распространенію основательныхъ и ясныхъ понятій объ этомъ предметѣ.

Но Принципъ Актуальныхъ Скоростей дѣйствовалъ на прогрессъ механическихъ наукъ другимъ путемъ, именно тѣмъ, что онъ далъ нѣсколько аналогій, при помощи которыхъ былъ открытъ третій законъ движенія и привелъ къ образованію понятія о Моментѣ, какъ произведеніи тяжести на скорость. Если въ одной машинѣ тяжесть въ два фунта на одной сторонѣ уравновѣшиваетъ три фунта на другой и если первая тяжесть проходитъ три вершка въ то время, какъ послѣдняя проходитъ только два, то мы видимъ (такъ какъ $3\times2=2\times3$), что произведеніе тяжести и скорости одинаково для двухъ уравновѣшивающихся тяжестей, и если мы это произведеніе назовемъ моментомъ, то законъ равновѣсія можно выразить такъ: если двѣ тяжести уравновѣшиваются на машинѣ, то когда она приведена въ движеніе, моменты ихъ обѣихъ равны.

Понятіе о моментѣ употребляется здѣсь въ связи съ виртуальными скоростями; но оно же приложено было и къ понятію фактическихъ или актуальныхъ скоростей, какъ мы увидимъ впослѣдствіи.

§ 5. Попытки къ открытію третьяго закона движенія.— Понятія о моментѣ.

Въ вопросахъ о Движеніи, которыми мы занимались до сихъ поръ, не обращалось вниманія на Величину движущагося тѣла, а только разсматривались Скорость и Направленіе движенія. А теперь мы должны изложить прогрессъ знаній относительно того, какое влія-

ніе имѣетъ на дѣйствіе силы масса движущагося тѣла. Это есть болѣе трудная и болѣе сложная сторона предмета; но и опа должна быть представлена такъ же очевидно, какъ и первая. Вопросы, касающіеся этой отрасли механики, встрѣчаются еще въ механическихъ проблемахъ Аристотеля. «Отчего происходитъ»—говоритъ онъ,—«что ни весьма малыя, ни весьма большія тѣла не летятъ далеко, когда они брошены, и для того, чтобы это могло быть, бросаемое тѣло должно имѣть извѣстную пропорціональность съ агентомъ, который бросаетъ его? Ужели это происходитъ оттого, что брошенное тѣло должно реагировать (ἀντερείδειν) противъ бросающей силы? и что тѣло слишкомъ большое, такъ что оно вовсе не уступаетъ предъ силой, или слишкомъ малое, такъ что оно совсѣмъ уступаетъ предъ ней и не можетъ реагировать противъ нея, поэтому самому не можетъ быть далеко брошено?» Такое же смѣшеніе понятій продолжалось и послѣ него; и механическіе вопросы безуспѣшно разрѣшались посредствомъ общихъ и отвлеченныхъ терминовъ, употреблявшихся безъ точнаго и строгаго значенія, каковы напримѣръ Стремительность, Сила, Моментъ, Мужество, Энергія и т. д. По нѣкоторымъ ихъ разсужденіямъ мы можемъ судить, какая путаница происходила отъ этого въ понятіяхъ того времени. Карданъ самъ запуталъ себя затрудненіями, уже указанными выше и происходившими оттого, что онъ занимался сравненіемъ силъ, которыя дѣйствуютъ въ тѣлахъ, находящихся въ покоѣ, съ тѣми особенными силами, которыя дѣйствуютъ въ движущихся тѣлахъ. Если Сила тѣла зависитъ отъ его Скорости, какъ это повидимо-

му справедливо, то какъ же можетъ имѣть какую-нибудь силу тѣло, находящееся въ Покоѣ, какъ оно можетъ сопротивляться малѣйшему толчку или производить какое бы то ни было Давленіе? И онъ воображаетъ, что онъ разрѣшилъ этотъ вопросъ, сказавъ, что тѣла находящіяся въ покоѣ, имѣютъ Скрытое Движеніе. Corpus movetur occulto motu quiescendo (тѣло находящееся въ покоѣ движется скрытымъ движеніемъ). Другая головоломная вещь, надъ которой онъ тоже много и тщетно трудился, выражена у него такъ: «если одинъ человѣкъ можетъ тянуть половину извѣстной тяжести и другой человѣкъ также половину и если оба человѣка дѣйствуютъ вмѣстѣ, то каждый изъ нихъ можетъ тянуть только половину половины, т. е. четвертую часть тяжести.» Вѣроятно въ то время самые умные люди имѣли большой талантъ опутывать себя подобнымъ вздоромъ. Арріага *), писавшій около 1640 г., былъ очень удивленъ тѣмъ замѣченнымъ имъ явленіемъ, что многія Плоскія Тяжести, положенныя на столѣ одна на другую, производятъ на столъ гораздо большее Давленіе, чѣмъ могла бы произвести самая нижняя тяжесть, хотя собственно только она одна и касается стола. Между другими рѣшеніями, которыя онъ придумалъ, для того, чтобы объяснить дѣйствіе стола на верхнія тяжести, онъ останавливается только на одномъ и называетъ его ubicatio (гдѣ'йность)!

Ученіе Аристотеля, что тѣло въ десять разъ тяжелѣйшее падаетъ въ десять разъ скорѣе, есть другой

*) Rod. de Arriaga. *Cursus philosophicus*, Paris 1639.



примѣръ смѣшенія статическихъ и динамическихъ силъ: сила большаго тѣла, когда оно находится въ Покоѣ, дѣйствительно въ десять разъ больше, чѣмъ сила другаго тѣла; но сила, выражающаяся произведенной скоростью при Паденіи, равна въ обоихъ тѣлахъ. Оба тѣла падаютъ внизъ съ одинаковой скоростью, если только движеніе ихъ не видоизмѣняется какими-нибудь случайными причинами. Заслуга доказательства этого положенія опытомъ и опроверженія аристотелевскаго мнѣнія обыкновенно приписывается Галилею, который производилъ свои опыты съ знаменитой падающей башни въ Пизѣ, около 1590 г. Но и другіе въ это самое время замѣчали такой очевидный фактъ. Ф. Пикколомини въ своей «Liber scientiæ de natura», напечатанной въ Падуѣ въ 1597 г., говоритъ: «относительно движенія тяжелыхъ и легкихъ тѣлъ, Аристотель установилъ много различныхъ мнѣній, которыя противорѣчатъ уму и опыту, и высказалъ правила объ отношеніи скорости и медленности совершенно ложныя. Потому что камень вдвое большій не падаетъ вдвое скорѣе.» И Стевинъ въ приложеніи къ своей Статикѣ описываетъ сдѣланный имъ опытъ и говоритъ весьма опредѣленно о замѣченномъ имъ уклоненіи отъ этого закона, приписывая его Сопротивленію Воздуха. И въ самомъ дѣлѣ результатъ вытекалъ изъ опыта самымъ очевиднымъ образомъ; потому что десять кирпичей соединенныхъ между собою падаютъ съ такой же скоростью, какъ и одинъ кирпичъ, хотя они представляютъ собой тѣло, въ десять разъ большее его. Бенедетти въ 1585 г. разсуждаетъ совершенно такимъ же образомъ относительно тѣлъ раз-

личной величины, хотя онъ и удерживаетъ еще ошибку Аристотеля о различныхъ скоростяхъ различно плотныхъ тѣлъ.

Дальнѣйшій шагъ въ этомъ вопросѣ принадлежитъ уже съ большей очевидностью Галилею; онъ открылъ вѣрныя отношенія между Ускоряющей Силой тѣла, падающаго внизъ по наклонной плоскости, и между Ускоряющей Силой того же тѣла, падающаго свободно. Сначала это была просто счастливая догадка; но она подтвердилась опытомъ и наконецъ, послѣ нѣкотораго замедленія, она была приведена съ элементарной простотой къ своему вѣрному принципу, третьему закону движенія. Принципъ этотъ состоитъ въ слѣдующемъ: для одного и того же тѣла Динамическій Эффектъ силы пропорціоналенъ Статическому Эффекту ея, т. е. Скорость, какую производитъ сила въ данное время, когда приводитъ тѣло въ движеніе, пропорціональна Давленію, которое производитъ та-же сила на тѣло, находящееся въ покоѣ. Принципъ, представленный въ такомъ видѣ, кажется весьма простымъ и очевиднымъ, однако въ такой простой формѣ не представляли его ни Галилей, ни другія лица, старавшіяся доказать его. Галилей, въ своемъ Діалогѣ о движеніи, принимаетъ своимъ основнымъ положеніемъ объ этомъ предметѣ правило, хотя и менѣе очевидное, чѣмъ вышеприведенное, но такое однако, въ которомъ оно уже заключалось. Его постулятъ тотъ *), что когда одно и то же тѣло падаетъ внизъ по различнымъ плоскостямъ, но съ одинаковой высоты, то скорость его во всѣхъ

*) Opera, III, 96.



случаяхъ одинакова. Онъ указываетъ и разъясняетъ это весьма остроумно опытомъ надъ маятникомъ, показывая, что тяжесть маятника доходитъ до одинаковой высоты, какой бы путь ее ни заставили проходить. Торичелли, въ своемъ трактатѣ, напечатанномъ 1644 г., говоритъ, что онъ слышалъ, будто Галилей, въ концѣ своей жизни, доказалъ свое приведенное положеніе; но такъ какъ онъ самъ не видѣлъ этого доказательства, то онъ приводитъ свое доказательство. Въ немъ онъ выставляетъ вѣрный принципъ, но кажется, что самое доказательство еще было не вполнѣ ясно для него самого, потому что подъ словомъ Моментъ онъ разумѣетъ безразлично и статическое давленіе тѣла и скорость его, когда оно находится въ движеніи, какъ будтобы эти два качества были сами по себѣ совершенно одинаковы. Гюйгенсъ[5]) въ 1673 г. выразился, что онъ недоволенъ доказательствомъ, которое приводится въ подтвержденіе мнѣнія Галилея въ послѣднихъ изданіяхъ его сочиненій. Его же собственное доказательство основывается на томъ принципѣ, что если тѣло падаетъ внизъ по наклонной плоскости и потомъ съ пріобрѣтенной скоростью поднимается вверхъ по другой наклонной же плоскости, то оно ни въ какомъ случаѣ не можетъ подняться выше того положенія, съ котораго оно начало падать. Этотъ принципъ совпадаетъ весьма близко съ опытнымъ доказательствомъ Галилея. И въ самомъ дѣлѣ принципъ Галилея, который Гюйгенсъ такъ мало цѣнитъ, можно считать удовлетворительной постановкой вѣрнаго закона, именно, что для одного и того же тѣла произведенная Скорость пропорціональна Давленію, которое

оно производитъ. «Такимъ образомъ мы признаемъ»,— говоритъ онъ*),—«что въ движущемся тѣлѣ Стремленіе, Энергія, Моментъ, или Расположеніе къ движенію такъ же велики, какъ Сила или послѣднее Сопротивленіе, которое можетъ оказать Противодѣйствіе движенію.» Различные термины, употребленные здѣсь для обозначенія Динамической и Статической Силы, показываютъ, что идеи Галилея нисколько не запутывались вслѣдствіе обоюдности и множества значеній одного какого-нибудь термина, какъ случалось это съ нѣкоторыми другими математиками. Этотъ принципъ, такимъ образомъ формулированный, имѣетъ, какъ мы увидимъ, широкій объемъ и большое значеніе; и намъ интересно читать объ обстоятельствахъ его открытія, которыя разсказываются такъ.**) **Вивіани**, занимаясь однажды съ Галилеемъ, высказалъ свое сожалѣніе о томъ, что нѣтъ яснаго доказательства того постулята Галилея, что Скорости, пріобрѣтаемыя на Наклонныхъ Плоскостяхъ, равны между собой; вслѣдствіе этого Галилей въ ту же ночь, которую онъ по болѣзни провелъ безъ сна, открылъ доказательство, которое онъ такъ долго и напрасно искалъ и внесъ въ слѣдующее изданіе. При взглядѣ на это доказательство легко видѣть, что открыватель его затруднялся не тѣмъ, чтобы открыть промежуточныя ступени между двумя отдаленными понятіями, какъ бываетъ въ проблемахъ геометріи, но чтобы составить ясное понятіе объ идеяхъ, которыя очень близки одна къ другой и которыхъ онъ не могъ

---

*) Galil. Op., III, 104.

**) Drinkwater, *Life of Galilei*, стр. 59.

до сихъ поръ поставить въ связь, потому что самъ еще не установилъ ихъ твердо и не представлялъ совершенно ясно. Такіе термины, какъ Моментъ и Сила, были источникомъ путаницы въ понятіяхъ со временъ Аристотеля. И требовалась значительная твердость мысли, чтобы при такой темнотѣ и колебаніи понятій найти различіе между силами тѣлъ движущихся и находящихся въ покоѣ.

Терминъ «Моментъ» былъ введенъ для того, чтобы выразить силу движущихся тѣлъ, прежде чѣмъ узнали, какой эффектъ производитъ сила. Галилей въ своемъ: «Discorso intorno alle cose che stanno in su l'Acqua» говоритъ, что «Моментъ есть Сила, Дѣйствіе, Внутренняя Энергія или свойство, съ которыми движеніе совершается и движущееся тѣло сопротивляется; и этотъ моментъ зависитъ нетолько отъ одного Вѣса тѣла, но и отъ Скорости, отъ Наклоненія и отъ многихъ другихъ подобныхъ причинъ.» Когда онъ достигъ большей точности въ своихъ воззрѣніяхъ, тогда онъ, какъ мы видѣли, сталъ утверждать, что въ одномъ и томъ же тѣлѣ моментъ пропорціоналенъ скорости; а изъ этого уже легко было видѣть, что въ различныхъ тѣлахъ Моментъ пропорціоналенъ Скорости и Массѣ вмѣстѣ. Этотъ принципъ, такимъ образомъ выраженный, былъ способенъ къ самымъ широкимъ примѣненіямъ и между прочимъ привелъ къ опредѣленію результатовъ взаимнаго Столкновенія Тѣлъ. Но хотя Галилей, подобно другимъ своимъ предшественникамъ и современникамъ, много занимался проблемой Столкновенія; однако не пришелъ ни къ какому удовлетвори-

тельному результату и разрѣшеніе ея досталось математикамъ слѣдующаго поколѣнія.

Мы сдѣлаемъ здѣсь еще замѣчаніе о Декартѣ и его законахъ движенія, объ обнародованіи которыхъ нѣкоторые говорятъ какъ о важномъ событіи въ исторіи механики. Но такое мнѣніе преувеличенно. «Principia» Декарта сдѣлали для физики немного. Его законы движенія по большей части суть только улучшеніе въ формѣ; но третій законъ даже ложенъ въ сущности. Декартъ изъявлялъ притязаніе на многія открытія Галилея и другихъ своихъ современниковъ; но мы не можемъ считать этихъ притязаній справедливыми, когда видимъ, что онъ (о чемъ сказано будетъ еще впослѣдствіи) не понималъ законовъ движенія даже когда они были уже открыты, или не умѣлъ примѣнять ихъ. Еслибы нужно было сравнивать Декарта съ Галилеемъ, то мы могли бы сказать, что изъ всѣхъ механическихъ открытій, которыя были возможны въ началѣ XVII столѣтія, Галилей сдѣлалъ такъ много, а Декартъ такъ мало, какъ только можно ожидать отъ людей съ талантомъ.

(2-е изд.) Мы находимъ справедливымъ слѣдующее замѣчаніе Либри. Изложивъ ученія, которыя развили о предметахъ астрономіи, механики и другихъ областей науки Леонардо да Винчи, Фракасторо Мавроликусъ, Коммандинусъ, Бенедетти, онъ прибавляетъ (Hist. des Sciences Mathématiques en Italie, t. III, p. 131): «Этотъ краткій анализъ достаточно показываетъ, что въ тотъ періодъ, до котораго дошло наше изложеніе, Аристотель уже не царствовалъ безраздѣльно въ итальянскихъ школахъ. Еслибъ мы писали исторію филосо-

фіи, то могли бы доказать множествомъ фактовъ, что итальянцы разбили этого древняго идола философовъ. Нѣкоторые и до сихъ поръ постоянно повторяютъ, что борьба противъ него начата Декартомъ и провозглашаютъ его законодателемъ въ новой философіи. Но если мы разсмотримъ философскія сочиненія Фракасторо, Бенедетти, Кардана и прежде всего Галилея, и когда мы увидимъ, какъ со всѣхъ сторонъ поднимаются энергическіе протесты противъ доктринъ перипатетиковъ, то намъ невольно представится вопросъ, что же въ этомъ низверженіи философіи природы Аристотеля остается послѣ этого на долю изобрѣтателя вихрей? Почти ничего. Кромѣ того почтенные труды школы Казенца, Телезіуса, Джіордано Бруно; сочиненія Патриціуса, который былъ кромѣ того хорошимъ геометромъ; сочиненія Ницоліуса, котораго Лейбницъ цѣнилъ такъ высоко, и сочиненія другихъ метафизиковъ этой эпохи,—доказываютъ, что древній философъ уже потерялъ свою власть по ту сторону Альповъ, когда явился Декартъ, чтобы сражаться съ непріятелемъ, уже поверженнымъ на землю. Иго уже было свергнуто въ Италіи, и остальной Европѣ оставалось только слѣдовать данному примѣру, не имѣя необходимости давать новыя возбужденія реальному знанію.»

Въ Англіи мы привыкли слышать, что Франсиса Бакона чаще чѣмъ Декарта называютъ первымъ великимъ антагонистомъ аристотелевскихъ школъ и законодателемъ новой философіи. Но вѣрно то, что ниспроверженіе древней системы дѣятельно началось еще до него, вслѣдствіе упомянутыхъ нами практическихъ открытій и вслѣдствіе другихъ опытно и теоретиче-

ски подтвержденныхъ истинъ, которыя были несогласны съ принятыми аристотелевскими ученіями. Гильбертъ въ Англіи, Кеплеръ въ Германіи, также какъ Бенедетти и Галилей въ Италіи, дали могучій толчекъ дѣлу реальнаго знанія еще прежде, чѣмъ вліяніе Декарта и Бакона произвело хоть малѣйшее дѣйствіе. Все, чтó дѣйствительно сдѣлалъ Баконъ, заключалось въ слѣдующемъ: нарисовавъ величественную картину, которую представляла собой будущая философія, соперница аристотелевой, только болѣе могучая и обширная, онъ привлекъ къ ней желанія и надежды всеобъемлющихъ и сильныхъ умовъ, также какъ и тѣхъ, которые стремились на путь частныхъ открытій. Онъ провозгласилъ новый методъ, а не простое исправленіе частнаго, неправильнаго потока. Этимъ онъ обратилъ инсуррекцію въ революцію и утвердилъ новую философскую династію. Декартъ въ нѣкоторой степени имѣлъ тѣ же намѣренія и кромѣ того нетолько провозгласилъ самого себя авторомъ новаго метода, но и утверждалъ, будтобы онъ далъ и полную систему результатовъ этого метода. Его философскія воззрѣнія на природу высказаны были какъ совершенныя и очевидныя и такимъ образомъ заключали въ себѣ недостатки древняго догматизма. Телезіусъ и Кампанелла имѣли такимъ образомъ высокія понятія о всей великой реформѣ въ методѣ философствованія, какъ я показалъ въ «Философіи Индуктивныхъ Наукъ» (кн. XII).

ГЛАВА III.

Слѣдствія эпохи Галилея.—Періодъ повѣрки и выводовъ.

Доказательство, на которомъ Галилей основывалъ вѣрность открытыхъ имъ законовъ движенія, была простота этихъ законовъ и согласіе ихъ послѣдствій съ опытомъ; всѣ же исключенія изъ нихъ объяснялись разными нарушающими причинами. Его преемники приняли и продолжали дѣло постояннаго сравненія теоріи съ практикой, пока не оставалось болѣе никакого сомнѣнія въ точности основныхъ принциповъ. Они занимались тѣмъ, что сколько возможно упрощали способъ постановки этихъ принциповъ и выводили изъ нихъ послѣдствія въ разныхъ проблемахъ, при помощи математическаго анализа. Эти работы имѣли слѣдствіемъ появленіе различныхъ трактатовъ о Падающихъ Тѣлахъ, о Наклонной Плоскости, о Маятникѣ, о Брошенныхъ Тѣлахъ, о Жидкостяхъ, текущихъ по трубкамъ и т. д.; и эти трактаты занимали большую часть XVII столѣтія.

На авторовъ этихъ трактатовъ можно смотрѣть какъ на школу Галилея. Многіе изъ нихъ были и въ самомъ дѣлѣ его учениками или личными друзьями. Кастелли былъ его ученикъ и астрономическій ассистентъ во Флоренціи, а впослѣдствіи его корреспондентъ. Торричелли былъ сначала ученикомъ Кастелли, а потомъ сдѣлался домашнимъ человѣкомъ и ученикомъ Галилея въ 1641 г. и занималъ его прежнее мѣсто при флорентійскомъ дворѣ до самой его смерти, послѣдовавшей чрезъ нѣсколько мѣсяцевъ. Вивіани жилъ въ его семействѣ въ продолженіе трехъ послѣднихъ лѣтъ его жизни; и, переживъ его и его современниковъ (Вивіани жилъ еще въ XVIII столѣтіи), съ особеннымъ удовольствіемъ и гордостью называлъ себя послѣднимъ изъ учениковъ Галилея. Гассенди, знаменитый французскій математикъ и профессоръ, посѣтилъ его въ 1628 г. Также свидѣтельствуетъ о его обширной извѣстности и то обстоятельство, что Мильтонъ, сказавъ о своемъ путешествіи въ Италію, прибавляетъ: «здѣсь-то я нашелъ и посѣтилъ славнаго Галилея, уже старика, посаженнаго въ тюрьму инквизиціи за то только, что онъ имѣлъ астрономическія понятія несогласныя съ понятіями францисканскихъ и доминиканскихъ цензоровъ» *). Кромѣ этихъ писателей, мы можемъ еще упомянуть о другихъ, которые продолжали и разъясняли ученіе Галилея, каковы напр. Боррели, бывшій профессоромъ во Флоренціи и Пизѣ, Мерсеннъ, корреспондентъ Декарта, бывшій профессоромъ въ Парижѣ, Валлисъ,

*) *Speech for the Liberty of Unlicensed Printing.*



который былъ назначенъ Савиліанскимъ профессоромъ въ Оксфордѣ въ 1649 г., послѣ того, какъ его предшественникъ былъ удаленъ Парламентской коммиссіей. Намъ нѣтъ необходимости изображать здѣсь рядъ чисто математическихъ изобрѣтеній, составляющихъ большую часть сочиненій этихъ авторовъ, и мы скажемъ только о нѣкоторыхъ немногихъ обстоятельствахъ.

Вопросъ о доказательствѣ втораго закона движенія былъ въ первое время замѣшанъ въ споры о Коперниковой системѣ. Потому что этотъ законъ давалъ вѣрный отвѣтъ на самое сильное возраженіе противъ движенія земли, состоявшее въ томъ, что еслибы земля двигалась, то тѣла, падающія съ очень высокихъ предметовъ, летѣли бы и упадали на землю сзади того мѣста, съ котораго они падаютъ. Это возраженіе высказывалось оппонентами новаго ученія въ различныхъ формахъ; и отвѣты на это возраженіе, хотя отчасти принадлежатъ исторіи астрономіи и составляютъ принадлежность періода, слѣдовавшаго за эпохой Коперника, но ихъ нужно причислять собственно къ исторіи механики и они составляютъ одно изъ слѣдствій, вытекавшихъ изъ открытій Галилея. По отношенію къ указанному механическому спору защитники втораго закона движенія торжественно ссылались на опытъ. Гассенди сдѣлалъ множество опытовъ по этому предмету и описалъ ихъ въ своихъ «Epistolae tres de motu impresso a motore translato» *).

Изъ этихъ опытовъ оказывалось, что тѣла, когда

*) Mont. II. 199.



ихъ заставляютъ падать, или бросаютъ вверхъ, впередъ или назадъ, на лодкѣ или въ экипажѣ, будутъ ли лодка и экипажъ двигаться или стоять на мѣстѣ, бросаетъ ли ихъ человѣкъ стоящій въ покоѣ или тоже движущійся, всегда имѣютъ одинаковое движеніе по отношенію къ двигателю. Въ приложеніи этого принципа къ міровой системѣ, Гассенди и другіе писатели его времени встрѣчали большія трудности и потому, что религіозныя соображенія и опасенія не позволяли имъ сказать прямо, что земля дѣйствительно движется, и они говорили только, что физическія возраженія противъ ея движенія безсильны. Такая ихъ оговорка дала Риччіоли и другимъ писателямъ, признававшимъ землю неподвижнымъ центромъ міра, возможность опутать вопросъ метафизическими препятствіями, которыя однако не могли поколебать надолго убѣжденія людей, и второй законъ движенія былъ скоро признанъ несомнѣннымъ.

Законы движенія падающихъ тѣлъ, какъ они были указаны Галилеемъ, были подтверждены соображеніями Гассенди и Фермата и опытами Риччіоли и Гримальди, а дѣйствія сопротивленій различнаго рода были указаны и разъяснены Мерсенномъ и Дешалемъ. Параболическое движеніе тѣлъ, брошенныхъ горизонтально, было особенно разъяснено опытомъ надъ водяной струей, вытекающей изъ отверстія сосуда, наполненнаго водой. Опытъ подобнаго рода способенъ былъ обратить на себя вниманіе, потому что кривая линія, которая, при бросаніи твердыхъ тѣлъ, бываетъ невидима и непостоянна, становится видимой и постоянной при паденіи воды, когда мы видимъ предъ собой

постоянную струю извѣстной кривизны. Ученіе о движеніи жидкостей особенно усердно разработывалось итальянцами. Трактатъ Кастелли «Della Misura dell' Acque Corrente» (1638) есть первое сочиненіе объ этомъ предметѣ и Монтюкла справедливо называетъ его «творцомъ новой отрасли гидравлики» *), хотя онъ ошибочно предполагалъ, что скорость вытеченія жидкостей пропорціональна разстоянію отверстія отъ поверхности жидкости. Марсеннъ и Торичелли, а послѣ нихъ и многіе другіе, также занимались изслѣдованіями объ этомъ предметѣ.

Мнѣніе Галилея о томъ, что Кривая, описываемая пушечной или ружейной пулей, близко приближается къ теоретической Параболѣ, было слишкомъ покорно принято послѣдующими практическими писателями объ артиллеріи. Они также какъ и онъ упустили изъ виду Сопротивленіе Воздуха, которое на дѣлѣ такъ велико, что оно совершенно измѣняетъ формы и свойства кривой. Но несмотря на это Параболическая Теорія нетолько принята была Андерсономъ въ его «Art of Gunnery» (1674) и Блонделемъ въ его «Art de jeter les bombes», нетолько составлялись таблицы на основаніи ея, но и дѣлались попытки опровергать возраженія, которыя приводились противъ параболической формы этой кривой въ дѣйствительности. Только гораздо позже, въ 1740 г., когда Робинъ сдѣлалъ рядъ тщательныхъ и остроумныхъ опытовъ по артиллеріи и когда лучшіе математики вычислили кривую, принявъ въ соображеніе сопротивленіе воздуха,—

*) Mont, II., 201.



только тогда можно было сказать, что Теорія Брошенныхъ Тѣлъ подтвердилась опытомъ.

Третій законъ движенія все-еще представлялся не ясно и послѣ Галилея. Дальнѣйшимъ великимъ шагомъ, сдѣланнымъ въ школѣ Галилея, было опредѣленіе законовъ движенія тѣлъ вслѣдствіе Удара, когда этотъ ударъ измѣняетъ поступательное движеніе тѣлъ. Трудности этой проблемы отчасти происходили отъ неодинаковой природы Давленія (когда тѣло покоится) и Момента (когда оно находится въ движеніи) и отчасти отъ того, что дѣйствіе удара на отдѣльныя части тѣла, напр. при ломаніи, рѣзаніи и сдавливаніи, смѣшивали съ тѣмъ дѣйствіемъ, которое приводитъ въ движеніе все тѣло.

Первую трудность понималъ уже съ нѣкоторой ясностью самъ Галилей. Въ напечатанномъ уже послѣ его смерти прибавленіи къ его механическимъ діалогамъ говорится: «есть два рода Сопротивленія въ движимомъ тѣлѣ, одно Внутреннее, когда напр. говорятъ, что труднѣе поднять тяжесть въ тысячу фунтовъ, чѣмъ тяжесть во сто фунтовъ, и другое Внѣшнее, касающееся только пространства, когда напр. говорится, что нужно больше силы, для того чтобы подвинуть камень на 100 футовъ, чѣмъ для того, чтобы подвинуть его на 50» *). Разсуждая объ этомъ различіи, онъ приходитъ къ тому результату, «что Моментъ Удара безконечно великъ, потому что всякое Сопротивленіе, какъ бы оно ни было велико, всегда можетъ быть побѣждено Силой Удара, какъ бы онъ

*) Op. III, 210.



ни былъ малъ.» *) Это онъ объясняетъ далѣе тѣмъ замѣчаніемъ, что сопротивленіе удару должно занимать нѣкоторую частичку времени, хотя эта частичка можетъ быть безконечно мала. Этотъ совершенно вѣрный способъ, которымъ устранена была кажущаяся несовмѣстимость и несоизмѣримость продолжительно дѣйствующей и мгновенной силы, была важнымъ шагомъ къ разрѣшенію проблемы.

Законы Толча тѣлъ были ошибочно установлены Декартомъ въ его «Principia» и разъяснены правильно только Вреномъ, Валлисомъ и Гюйгенсомъ, который въ это время (1669) послалъ въ королевское общество въ Лондонѣ записку объ этомъ предметѣ. Въ ихъ рѣшеніяхъ мы видимъ, какъ ученые достигали постепеннаго представленія третьяго закона въ его самомъ общемъ смыслѣ, въ томъ именно, что Моментъ (который пропорціоналенъ произведенію Массы тѣла на его Скорость) можетъ служить мѣрой дѣйствія; такъ что этотъ Моментъ въ толкающемъ тѣлѣ уменьшается отъ встрѣчаемаго имъ сопротивленія настолько, насколько онъ вслѣдствіе толчка увеличивается въ тѣлѣ, получившемъ ударъ. Иногда это самое выражали такимъ образомъ: «Количество Движенія остается неизмѣннымъ» и здѣсь терминъ Количество Движенія былъ однозначащъ съ прежнимъ терминомъ Моментъ. Ньютонъ выражалъ это такъ: «Дѣйствіе и Противодѣйствіе равны и противоположны;» и въ этой формѣ и до сихъ поръ преимущественно выражается Третій Законъ Движенія.

---

*) Ibid, III. 211.

Въ этомъ способѣ представленія Закона мы видимъ примѣръ господствующаго между математиками стремленія представлять основные законы покоя и движенія такъ, какъ будтобы они были очевидно равны и тожественны. Тѣсная аналогія и связь, существующая между принципами равновѣсія и движенія, привела этихъ людей къ тому, что они не совсѣмъ ясно представляли и тѣ и другіе: и это смѣшеніе ввело обоюдность и двусмысленность въ употребленіи словъ, какъ мы уже видѣли это на примѣрѣ понятій о Моментѣ, Силѣ и другихъ. Тоже самое можно сказать о терминахъ Дѣйствія и Противодѣйствія, которые имѣютъ двоякое значеніе, и статическое и динамическое. Вслѣдствіе этого очень многія общія положенія законовъ движенія выражаются такъ, что они походятъ на общія статическія положенія. Напримѣръ Ньютонъ изъ своего принципа вывелъ заключеніе, что вслѣдствіе взаимнаго дѣйствія тѣлъ движеніе ихъ центровъ тяжести не можетъ измѣниться. Маріоттъ въ своемъ «Traité de la percussion» (1684) принималъ это положеніе для случаевъ прямаго удара. Но механики ньютоновскаго времени—динамическое положеніе, что движеніе центровъ тяжести не можетъ быть измѣнено актуальнымъ движеніемъ и ударомъ тѣлъ, соединяли съ статическимъ положеніемъ, что когда тѣла находятся въ равновѣсіи, то центръ тяжести не можетъ быть ни поднятъ, ни опущенъ внизъ виртуальнымъ движеніемъ тѣлъ. Это послѣднее положеніе было принято Торричелли, какъ очевидное само по себѣ; но оно гораздо основатель-

нѣе можетъ быть доказано элементарными и статическими принципами.

Эта наклонность отожествлять элементарные законы равновѣсія и движенія заставляла этихъ ученыхъ слишкомъ легко думать о древнемъ, твердомъ и удовлетворительномъ основаніи Статики, т. е. объ ученіи о рычагѣ. Когда прогрессъ мысли открылъ человѣческому уму болѣе общій взглядъ на предметъ, тогда показалось слишкомъ мелкимъ и достойнымъ порицанія основывать науку на свойствахъ одной частной машины. Декартъ говоритъ въ своихъ Письмахъ, что «смѣшно объяснять свойства блока посредствомъ рычага.» Подобныя же соображенія привели Вариньона къ мысли составить «Nouvelle mechanique», въ которой бы вся статика была основана на сложеніи и разложеніи силъ. Этотъ проектъ онъ напечаталъ въ 1687 г., но самое сочиненіе явилось уже по смерти автора, въ 1725 г. Хотя попытка свести равновѣсіе всѣхъ машинъ на сложеніе силъ можетъ считаться философичной и заслуживающей вниманія, однако попытка свести сложеніе Давленій къ сложенію Движеній, которой занимается сочиненіе Вариньона, была шагомъ назадъ, потому что она мѣшала развитію отчетливости въ механическихъ понятіяхъ.

Такимъ образомъ въ періодъ, котораго мы достигли теперь, Принципы Элементарной Механики были общеизвѣстны и общеприняты; и въ умахъ математиковъ преобладало стремленіе привести ихъ въ самую простѣйшую и понятнѣйшую форму, какую только они допускаютъ. Осуществленіе этого упрощенія и расширенія, которыя мы называемъ обобщеніемъ

законовъ, есть такое важное событіе, что хотя оно и составляетъ часть естественныхъ послѣдствій, вытекавшихъ изъ открытій Галилея, однако мы разсмотримъ его въ особой главѣ. Но прежде всего мы должны довести до соотвѣтствующаго этому періода исторію Механики Жидкостей.

ГЛАВА IV.

Открытіе механическихъ принциповъ жидкихъ тѣлъ.

---

§ 1. Вторичное открытіе Законовъ Равновѣсія Жидкихъ Тѣлъ.

Мы уже видѣли, что вѣрные законы равновѣсія жидкостей были открыты Архимедомъ и потомъ были вторично открыты Галилеемъ и Стевиномъ; въ промежуточный между ними періодъ господствовали неопредѣленность и путаница понятій, при которыхъ ученые не могли удержать тѣхъ ясныхъ взглядовъ, которые были развиты Архимедомъ. Стевина нужно считать самымъ первымъ открывателемъ указанныхъ законовъ; потому что его сочиненіе «*Принципы Статики и Гидростатики*» было напечатано въ Голландіи около 1585 г. и въ этомъ сочиненіи взгляды его высказаны совершенно отчетливо и правильно. Онъ подтверждаетъ ученіе Архимеда и показываетъ, что, на основаніи его, давленіе жидкостей на дно сосуда можетъ быть гораздо больше, чѣмъ

вѣсъ самой жидкости. Онъ доказываетъ это, представляя себѣ, что нѣсколько верхняго пространства сосуда наполнено твердымъ и плотнымъ тѣломъ, которое занимаетъ мѣсто жидкости, и однако вслѣдствіе этого не измѣняется давленіе на дно сосуда. Далѣе онъ показываетъ, каково должно быть давленіе на каждую часть наклоннаго дна; и такимъ образомъ, при помощи нѣкоторыхъ математическихъ пріемовъ, которые походятъ нѣсколько на изобрѣтенное впослѣдствіи Дифференціальное Исчисленіе, онъ находитъ всю сумму давленія на сосудъ съ наклоннымъ дномъ. Такой способъ разсмотрѣнія предмета и до сихъ поръ составляетъ значительную часть нашей элементарной Гидростатики, при настоящемъ ея научномъ положеніи. Галилей не менѣе ясно понималъ свойства жидкостей и разъяснилъ ихъ очень отчетливо въ 1612 г. въ своемъ Діалогѣ о Плавающихъ Тѣлахъ. Аристотеліанцы утверждали, что форма тѣлъ есть причина ихъ плаванія и при этомъ думали, что ледъ есть сгущенная вода; очевидно они смѣшивали здѣсь твердость съ плотностью. Галилей же, напротивъ, утверждалъ, что ледъ есть разрѣженная вода, какъ видно изъ того, что онъ плаваетъ на водѣ, и, основываясь на этомъ, доказалъ различными опытами, что плаваніе тѣлъ не зависитъ отъ ихъ формы. Счастливый талантъ Галилея особенно ясно обнаружился въ этомъ случаѣ, когда споръ о плавающихъ тѣлахъ былъ въ значительной части запутываемъ введеніемъ въ него явленій другаго рода, происходящихъ отъ того, что обыкновенно называется капилярностью или молекулярнымъ притяженіемъ. Въ самомъ дѣлѣ опытъ по-

называетъ, что шаръ изъ слоновой кости тонетъ въ водѣ, между тѣмъ какъ тоненькій листочекъ изъ той же слоновой кости плаваетъ на поверхности; и требовалось значительное остроуміе, чтобы отдѣлить такіе случаи отъ общаго правила. Мнѣнія Галилея были опровергаемы различными писателями, каковы напр. Нонцолини, Винченціо ди-Граціа, Лодовико делле-Коломбе, и защищаемы его ученикомъ Кастелли, который напечаталъ свой отвѣтъ на ихъ возраженія въ 1615 г. Эти мнѣнія распространились скоро и были вездѣ приняты; но нѣсколько позже Паскаль [6]) сталъ заниматься болѣе систематически этимъ предметомъ и написалъ свой «Трактатъ о равновѣсіи жидкостей» 1653, въ которомъ онъ показываетъ, что жидкость, заключенная въ сосудѣ, необходимо давитъ равномѣрно во всѣхъ направленіяхъ, и доказываетъ это тѣмъ, что если представить себѣ сосудъ, въ которомъ въ розныхъ мѣстахъ сдѣланы два поршня, или движущіяся затычки, такъ чтобы одинъ изъ нихъ былъ во сто разъ больше другаго, то очевидно будетъ, говоритъ онъ, что сила одного человѣка, дѣйствующаго на меньшій поршень уравновѣситъ силу ста человѣкъ, дѣйствующихъ на большій. «И такимъ образомъ,—говоритъ онъ, ясно,—что сосудъ, наполненный водой, есть новый Принципъ Механики и новая Машина, которая можетъ увеличивать силу до какой угодно степени.» Такимъ образомъ Паскаль сводитъ равновѣсіе жидкостей къ принципу виртуальныхъ скоростей, который управляетъ равновѣсіемъ другихъ машинъ. Это впрочемъ еще прежде его сдѣлалъ Галилей; такъ какъ это вытекало изъ того его принципа, что дав-

леніе, производимое нижними частями жидкости, увеличивается отъ вѣса верхнихъ частей.

Во всѣхъ этихъ положеніяхъ нѣтъ ничего, съ чѣмъ было бы трудно согласиться; но распространеніе ихъ на Воздухъ требовало еще особыхъ усилій и механическихъ соображеній. Давленіе воздуха со всѣхъ сторонъ на насъ и тяжесть его надъ нами были истинами, которыя никогда еще не представлялись уму съ какой-нибудь ясностью. Сенека впрочемъ *) говоритъ о тяжести воздуха и о его способности разсѣеваться, когда онъ сдавленъ, какъ о причинахъ вѣтра; но на эти фразы его нужно смотрѣть просто какъ на случайныя фразы, потому что мы видимъ все его пониманіе въ слѣдующихъ непосредственно за этимъ словахъ: «мы имѣемъ силу, которой мы можемъ двигать себя, и ужели же не имѣетъ этой силы движенія воздухъ, когда даже вода имѣетъ свое собственное движеніе, какъ это мы видимъ въ ростѣ растеній?» Очевидно мы не можемъ придавать большаго значенія такому представленію тяжести и эластичности воздуха.

Однако дѣйствія этихъ свойствъ воздуха были такъ многочисленны и очевидны, что уже аристотеліанцы вынуждены были изобрѣсти для объясненія ихъ особый принципъ horror vacui, или боязнь пустоты, свойственную будтобы природѣ. Этимъ принципомъ объяснялись многія обыкновенныя явленія, напр. сосаніе, дыханіе, дѣйствіе раздувательныхъ мѣховъ, втягиваніе ими въ себя воды, если они погружены въ нее, и трудность растягиванія ихъ, когда на нихъ сверху

*) Seneca. *Quaest. nat.* V. 5.



дѣйствуетъ вѣтеръ. Дѣйствіе насасывательныхъ рожковъ, или банокъ, въ которыхъ посредствомъ огня разрѣженъ воздухъ, тотъ фактъ, что изъ наполненнаго водой сосуда не вытекаетъ вода, когда его откроютъ, но погрузятъ отверстіемъ въ другой сосудъ съ водой; такое же явленіе съ трубками, открытыми внизу и закрытыми вверху, и вытеканіе изъ нихъ воды тотчасъ же, какъ только будетъ открыто верхнее отверстіе сифона и насоса; приставаніе другъ къ другу двухъ полированныхъ пластинокъ,—всѣ эти и подобные имъ факты объяснялись тѣмъ, что природа боится и избѣгаетъ пустоты. И въ самомъ дѣлѣ мы должны согласиться, что это былъ очень удобный принципъ, такъ какъ онъ сводилъ вмѣстѣ всѣ факты, которые и въ дѣйствительности относятся къ одному порядку, и относилъ ихъ къ одной причинѣ. Но если смотрѣть на него какъ на послѣдній принципъ объясненія явленій, то онъ былъ нетолько не философиченъ, но неудовлетворителенъ и даже положительно дуренъ. Онъ былъ не философиченъ, потому что для объясненія физическихъ явленій принималъ психическое чувствованіе, боязнь; онъ былъ неудовлетворителенъ, потому что въ крайнемъ случаѣ онъ только былъ закономъ для явленій, но не указывалъ ни на какую физическую причину; онъ былъ дуренъ, потому что принималъ безграничное дѣйствіе предполагаемой имъ причины. Поэтому онъ скоро повелъ къ ошибкамъ. Такимъ образомъ Мерсеннъ, въ 1644 г. говорилъ о сифонѣ, который бы могъ провести воду чрезъ горы; конечно онъ не зналъ тогда, что дѣйствіе этого инструмента простирается только до высоты 34 футовъ.

Однако чрезъ нѣсколько лѣтъ онъ замѣтилъ свою ошибку и въ III части своего сочиненія онъ вставилъ свой сифонъ въ число погрѣшностей, которыя нужно исправить, и здѣсь уже вѣрно говоритъ о тяжести воздуха, какъ причинѣ, поддерживающей ртуть въ трубкѣ Торричелли. Такимъ образомъ истинный принципъ открытъ былъ только тогда, когда было найдено, что эта боязнь пустоты простирается только до 34 футовъ. Было доказано, что во время попытокъ заставить подниматься воду на высоту высшую 34 футовъ природа терпѣла пустоту надъ поднятой водой. Въ 1643 г. Торричелли рѣшился произвести эту пустоту на меньшей высотѣ, употребляя вмѣсто воды болѣе тяжелую жидкость, ртуть; этотъ опытъ уже прямо наводилъ на вѣрное объясненіе, что тяжесть воды уравновѣшивается давленіемъ какой-нибудь другой тяжести. Это же заключеніе вытекало съ очевидностью и изъ другихъ соображеній. Галилей уже училъ, что воздухъ имѣетъ тяжесть; и Балліани, писавшій къ нему въ 1630 г., говоритъ *): «еслибы мы находились въ пустомъ пространствѣ, то тяжесть воздуха надъ нашими головами была бы очень чувствительна.» Декартъ также кажется имѣетъ долю въ этомъ открытіи; потому что, въ письмѣ отъ 1631 г., онъ указываетъ причину того, почему ртуть держится въ трубкахъ, сверху закрытыхъ, въ давленіи воздушнаго столба, который простирается до облаковъ.

Но умы людей все-еще нуждались въ подтвержде-

---

*) Drinkwater's. *Galileo*. p. 90.



нія этого; и это подтвержденіе нашлось, когда въ 1647 г. Паскаль показалъ на опытѣ, что если мы измѣнимъ высоту давящаго столба воздуха тѣмъ, что взойдемъ на высокое мѣсто, то этимъ самымъ мы измѣнимъ и давленіе его, т. е. онъ будетъ поддерживать меньшую тяжесть. Этотъ знаменитый опытъ былъ сдѣланъ самимъ Паскалемъ на церковной башнѣ въ Парижѣ и столбъ ртути въ Торричелліевой трубкѣ былъ употребленъ для сравненія тяжести воздуха. Затѣмъ онъ писалъ къ своему зятю, жившему близъ высокой горы Пюи-де-Домъ въ Оверни, и просилъ его повторить опытъ тамъ, потому что на высокой горѣ результатъ опыта былъ бы гораздо рѣшительнѣе. «Вы видите,—говоритъ онъ,—что если высота ртути на вершинѣ горы будетъ меньше, чѣмъ у ея подошвы (а я имѣю много основаній думать, что это будетъ такъ, хотя всѣ размышлявшіе объ этомъ держатся различныхъ мнѣній), то изъ этого будетъ слѣдовать, что тяжесть и давленіе воздуха суть единственная причина того, что ртуть держится въ трубкѣ на высотѣ, а вовсе не боязнь пустоты: такъ какъ очевидно, что при подошвѣ горы на ртуть давитъ больше воздуха, чѣмъ на ея вершинѣ, и такъ какъ мы не можемъ сказать, что природа боится пустоты при подошвѣ горы больше, чѣмъ на ея вершинѣ.» Перье, корреспондентъ Паскаля, дѣйствительно сдѣлалъ опытъ по его наставленію и нашелъ разницу въ высотѣ ртути на три дюйма, что, прибавляетъ онъ, поразило и удивило насъ.

Когда такимъ образомъ были разъяснены послѣднія очевидныя дѣйствія давленія и тяжести жидкихъ тѣлъ,

то уже не было больше никакихъ препятствій для дальнѣйшаго развитія гидростатическихъ теорій. Когда математики стали впослѣдствіи разсматривать еще болѣе общіе случаи, чѣмъ тѣ, въ которыхъ дѣйствуетъ тяжесть, то возникли трудности въ примѣненіи установленныхъ уже принциповъ; но ни одна изъ этихъ трудностей не повела за собой измѣненія въ установившихся понятіяхъ объ основныхъ свойствахъ равновѣсія жидкостей.

§ 2. Открытіе Законовъ Движенія Жидкихъ Тѣлъ.

Искусство проводить воду по трубамъ и употреблять ея движеніе для различныхъ цѣлей весьма древне. Когда оно излагается систематически, то это изложеніе называется Гидравликой; терминъ же Гидродинамика есть общее имя науки о законахъ движенія жидкихъ тѣлъ при всякихъ условіяхъ. Начало Искусства восходитъ къ началу самой цивилизаціи, а начало Науки восходитъ не дальше времени Ньютона, хотя попытки къ основанію ея дѣлались еще Галилеемъ и его учениками.

Когда жидкость вытекаетъ изъ отверстія сосуда, въ которомъ она заключена, то, какъ замѣтилъ Кастелли, скорость ея вытеканія зависитъ отъ того, насколько ниже находится отверстіе подъ уровнемъ жидкости; но онъ ошибочно предполагалъ, что скорость прямо пропорціональна разстоянію по высотѣ между уровнемъ и отверстіемъ. Торричелли нашелъ, что скорость вытеканія жидкости такова же, какую имѣло бы твердое тѣло, еслибы оно падало

трезъ такое пространство, какое занимаетъ жидкость, и что слѣдовательно скорость ея пропорціональна квадрату высоты ея. Впрочемъ онъ представляетъ этотъ результатъ только какъ слѣдствіе своего опыта, или какъ общее правило явленія, въ концѣ своего сочиненія «De motu naturaliter accelerato», напечатанномъ въ 1643 г.

Ньютонъ разсматривалъ этотъ же предметъ теоретически въ «Principia» (1687); но мы должны согласиться съ Лагранжемъ, что это самая неудовлетворительная страница въ этомъ великомъ произведеніи. Ньютонъ, производившій свой опытъ иначе, чѣмъ Торричелли, именно измѣрявши количество вытекавшей жидкости вмѣсто скорости ея вытеканія, пришелъ къ результату, несогласному съ результатомъ Торричелли. Найденная такимъ образомъ по заключенію отъ вытекшаго количества скорость была пропорціональна только половинѣ высоты жидкости.

Въ первомъ изданіи «Principia» *), Ньютонъ высказалъ рядъ умозаключеній, которыми онъ теоретически доказывалъ свой результатъ, выходя изъ того принципа, что моментъ вытекающей жидкости равенъ моменту, который производитъ своей тяжестью вертикальный столбъ жидкости надъ отверстіемъ сосуда. Но опыты Торричелли, которые давали въ результатѣ скорость пропорціональную всей высотѣ, подтверждены были и другими повторявшими ихъ: какимъ же образомъ можно было объяснить это несогласіе между нимъ и Ньютономъ?

*) Кн. II, предл. 37.

Ньютонъ объяснялъ его указаніемъ на замѣченное имъ сжатіе, которое претерпѣваетъ струя воды сейчасъ послѣ того, какъ она вышла изъ отверстія, и которую онъ назвалъ поэтому vena contracta. И такимъ образомъ скорость воды въ самомъ отверстіи пропорціональна половинѣ высоты ея, а въ vena contracta она пропорціональна всей высотѣ. Первая скорость опредѣляетъ количество вытекающей жидкости, а послѣдняя путь струи.

Это объясненіе было важнымъ шагомъ впередъ въ пониманіи этого предмета; но вслѣдствіе его первоначальное доказательство Ньютона кажется весьма недостаточнымъ, чтобы не сказать болѣе. Во второмъ изданіи «Principia» (1714), Ньютонъ разсматривалъ проблему совершенно другимъ способомъ, отличнымъ отъ его перваго изслѣдованія. Здѣсь онъ принимаетъ, что если круглый сосудъ, заключающій въ себѣ жидкость, имѣетъ въ днѣ отверстіе, то вытекающая жидкость можетъ быть разсматриваема какъ коническая масса, основаніе которой находится на поверхности жидкости, а вершина—въ отверстіи. Эту часть жидкости онъ называетъ катарактомъ и предполагаетъ, что когда эта часть опускается при вытеканіи, то окружающія ее части остаются неподвижными, какъ будто бы онѣ замерзли; и этимъ путемъ онъ получилъ результатъ, согласный съ опытами Торричелли о скорости вытеканія.

Мы должны согласиться, что предположенія, помощью которыхъ полученъ этотъ результатъ, нѣсколько произвольны. Не менѣе того произвольны и тѣ предположенія, которыя дѣлалъ Ньютонъ для того, чтобы

проблему вытекающей жидкости связать съ проблемой о сопротивленіи движущагося въ водѣ тѣла. Но даже и до настоящаго времени математики не въ состояніи были привести проблемы, касающіяся движенія жидкостей, къ математическимъ принципамъ и вычисленіямъ, не прибѣгая къ нѣкоторымъ произвольнымъ предположеніямъ. Поэтому и теперь еще необходимы опыты объ этомъ предметѣ, чтобы составить наконецъ такія гипотезы, которыя дали бы намъ возможность согласно съ дѣйствительнымъ положеніемъ вещей свести законы движенія жидкостей къ общимъ законамъ механики, которымъ они должны быть подчинены.

Поэтому наука Движенія Жидкостей не походитъ еще на другія первичныя отрасли Механики и все-еще нуждается въ опытахъ и наблюденіяхъ для отысканія и установленія основныхъ принциповъ. Многіе такіе опыты уже и были сдѣланы съ цѣлью или сравнить результаты теоретическихъ выводовъ съ наблюденіемъ, или, когда это сравненіе давало неудовлетворительные результаты, получить чисто эмпирическія правила. Такимъ путемъ производились изслѣдованія о сопротивленіи жидкостей и движеніи воды въ трубахъ, каналахъ и рѣкахъ. Въ Италіи съ давнихъ поръ было много изслѣдователей объ этихъ предметахъ. Самыя раннія сочиненія объ этомъ предметѣ были собраны въ XVI томахъ въ большую четверть. Лекки и Микелотти, около 1765 г., и послѣ нихъ Бидонъ занимались тѣми же изслѣдованіями. Во Франціи Боссю, Бюа и Гашеттъ трудились надъ тѣмъ же дѣломъ, также какъ Куломбъ и Прони, Жираръ и

Понселе. Нѣмецкій трактатъ Эйтельвейна (Гидравлика) содержитъ въ себѣ отчетъ о томъ, что сдѣлали другіе писатели и онъ самъ. Многіе изъ этихъ опытовъ произведены были во Франціи и въ Италіи насчетъ правительства и въ весьма обширныхъ размѣрахъ. Въ Англіи въ этомъ отношеніи сдѣлано было въ теченіе послѣдняго столѣтія меньше, чѣмъ въ другихъ странахъ. «Philosophical Transactions» напр. едва заключаютъ въ себѣ нѣсколько записокъ объ этомъ предметѣ, излагавшихъ опытныя изслѣдованія объ немъ *). Томасъ Юнгъ, стоявшій во главѣ своихъ соотечественниковъ относительно многихъ отраслей науки, былъ первый обратившій вниманіе на этотъ предметъ: также Ренни и другіе сдѣлали недавно полезные опыты объ этомъ предметѣ. Въ большей части вопросовъ, о которыхъ мы говоримъ, согласіе теоретическихъ вычисленій и опытныхъ результатовъ было весьма велико; но эти вычисленія произведены были посредствомъ чисто эмпирическихъ формулъ, которыя не связываютъ фактовъ съ ихъ причинами и оставляютъ такимъ образомъ пробѣлъ, который нужно наполнить, чтобы составилась настоящая наука.

Въ тоже время всѣ другія отрасли Механики были приведены къ общимъ законамъ и аналитическимъ процессамъ и были найдены средства включить и Гидродинамику въ эти улучшенныя формы, несмотря на трудности, которыя представляютъ ея спеціальныя

---

*) Rennie, *Report to Brit. Assoc.*



проблемы. Объ этихъ успѣхахъ мы должны говорить далѣе.

(2-е изд.) (Гидродинамическія проблемы, о которыхъ говорилось выше, суть слѣдующія: законы вытеченія жидкостей изъ сосудовъ, законы движенія воды въ трубахъ, каналахъ и рѣкахъ и законы сопротивленія жидкостей. Къ нимъ можно еще присоединить гидродинамическую проблему, важную для теоріи, для опыта и для сравненія ихъ между собой,— именно законы волнъ. Ньютонъ въ «Principia» (Lib. II, prop. 44) представилъ объясненіе волнъ воды, которое основано на ошибочномъ понятіи о сущности движенія жидкостей; но въ своемъ рѣшеніи проблемы о звукѣ онъ въ первый разъ высказалъ вѣрный взглядъ на распространеніе волнообразнаго движенія въ жидкости. Исторія этого предмета, относящагося къ теоріи звука, изложена въ VIII книгѣ; но я долженъ замѣтить здѣсь, что законы движенія волнъ были изучаемы опытно разными лицами, каковы напр. Бремонтье (Recherches sur le mouvement des Ondes, 1809), Эми (Du mouvement des Ondes, 1831), Веберъ (Wellenlehre 1825) и Скоттъ Россель (Reports of the British Association, 1844). Аналитическая теорія была развита Пуассономъ, Коши, а у насъ въ Англіи профессоромъ Келландомъ (Edin. Trans.) и Айри (въ статьѣ Tides въ Encyclopaedia Metropolitana). И хотя теорія и опытъ еще не были приведены въ полное согласіе, но все-таки сдѣланы были большіе успѣхи въ этомъ отношеніи и остающіяся еще несогласія между ними очевидно происходятъ отъ неполноты ихъ обоихъ.)

Едвали не самый замѣчательный случай движенія жидкостей есть тотъ случай, который опытно произвелъ Скоттъ Россель и который, хотя онъ и новъ, но вытекаетъ, какъ легко видѣть, изъ принциповъ уже извѣстныхъ, — это именно Большая Уединенная Волна. Можно произвести волну, которая будетъ двигаться по водѣ не сопровождаясь никакими другими волнами. Простота этого случая такова, что въ немъ математическія условія и слѣдствія представляются гораздо проще, чѣмъ въ другихъ проблемахъ Гидродинамики.

ГЛАВА V.

Обобщеніе принциповъ механики.

§ 1. Обобщеніе Втораго Закона Движенія.—Центральныя Силы.

ПОСЛѢ того какъ былъ опредѣленъ Второй Законъ Движенія, въ приложеніи къ Постояннымъ Силамъ, дѣйствующимъ въ параллельныхъ направленіяхъ, и Третій Законъ въ приложеніи къ Прямымъ Дѣйствіямъ тѣлъ, нуженъ былъ еще математическій талантъ и особенная индуктивная способность для того, чтобы опредѣлить тѣ законы, которые управляютъ движеніями нѣсколькихъ тѣлъ, дѣйствующихъ другъ на друга и приводимыхъ въ движеніе нѣсколькими силами, различными какъ по своей величинѣ, такъ и по своему направленію. Въ этомъ и состояло обобщеніе законовъ движенія.

Галилей былъ убѣжденъ, что скорость тѣлъ, брошенныхъ въ горизонтальномъ направленіи, и скорость, которую производитъ одна только тяжесть при верти-

кальномъ паденіи, — обѣ существуютъ самостоятельно, не измѣняются и не нарушаются одна другой и при своей встрѣчѣ не задерживаются одна другой. Однако нужно замѣтить, что этотъ результатъ вѣренъ только при извѣстномъ условіи, — именно, когда тяжесть во всѣхъ точкахъ дѣйствуетъ по направленіямъ, которыя можно считать параллельными. Когда же намъ представляется для разсмотрѣнія случай, въ которомъ нѣтъ этого условія, напр. когда сила направляется къ одному опредѣленному центру, то къ нему уже не можетъ быть примѣненъ, по указанному Галилеемъ способу, законъ сложенія и разложенія силъ и въ этомъ случаѣ математикамъ предстояли еще особенныя трудности.

Одна изъ этихъ трудностей заключается въ видимой несоизмѣримости статическихъ и динамическихъ мѣръ силы. Когда тѣло движется по кругу, то сила, которая тянетъ тѣло къ центру этого круга, есть только стремленіе къ движенію, потому что на самомъ дѣлѣ тѣло не приближается къ центру; и это стремленіе къ движенію соединяется съ дѣйствительнымъ движеніемъ, которое совершается по окружности круга. Такимъ образомъ намъ кажется, что мы здѣсь должны сравнивать и соединять двѣ вещи разнородныя. Декартъ замѣтилъ эту трудность, но не могъ разрѣшить представляемаго ею кажущагося противорѣчія *). Если мы дѣйствительное движеніе, совершающееся къ центру или отъ центра, соединимъ съ тѣмъ поперечнымъ движеніемъ, которое совершается

*) Princip. P. III, 59.



вокругъ центра, по кругу, то мы получимъ результатъ ложный съ точки зрѣнія механическихъ принциповъ. Подобнымъ образомъ Галилей старался найти кривую, описываемую тѣломъ, которое падаетъ къ центру земли и въ тоже время участвуетъ въ круговомъ движеніи земли, и получилъ ложный результатъ. Кеплеръ и Ферматъ пытались разрѣшить ту же проблему и получили рѣшеніе ея отличное отъ рѣшенія Галилея, но такъ же неправильное.

Даже Ньютонъ въ первые годы своихъ изслѣдованій имѣлъ ошибочное понятіе объ этой кривой, которую онъ воображалъ въ родѣ спирали. Гукъ замѣтилъ, когда это мнѣніе было представлено королевскому лондонскому обществу въ 1679 г., что оно не вѣрно, и утверждалъ съ большей основательностью, что кривая, если не брать въ разсчетъ сопротивленіе воздуха, должна быть эксцентрическимъ эллипсоидомъ, т. е. фигурой, похожей на эллипсисъ. Но хотя онъ и указалъ приблизительную форму кривой, полученную имъ неизвѣстно какъ, однако мы не имѣемъ основанія вѣрить, чтобы онъ имѣлъ какія-нибудь средства опредѣлить математическія свойства кривой, описываемой въ такихъ случаяхъ. Постоянное соединеніе центральной силы съ существующимъ уже движеніемъ тѣла не могло быть съ успѣхомъ изучаемо безъ знанія Дифференціальнаго Исчисленія, или чего-нибудь подобнаго ему. Первый примѣръ правильнаго рѣшенія такой проблеммы находится, сколько я знаю по крайней мѣрѣ, въ Теоремахъ Гюйгенса о Круговомъ Движеніи тѣлъ, изложенныхъ безъ доказательствъ въ концѣ его «Horlogium oscillatorium», въ 1673 г. Онъ

утверждаетъ здѣсь, что когда равныя тѣла описываютъ круги и въ равное время, то центробѣжныя силы относятся какъ діаметры этихъ круговъ и что если скорости этихъ тѣлъ равны, то силы относятся обратно пропорціонально діаметрамъ круговъ и т. д. Чтобы достигнуть этихъ положеній, Гюйгенсъ долженъ былъ какимъ-нибудь образомъ примѣнить Второй Законъ Движенія къ элементамъ круга, подобно тому какъ сдѣлалъ это Ньютонъ чрезъ нѣсколько лѣтъ, когда представилъ настоящее доказательство этой теоремы Гюйгенса въ своихъ «Principia».

Глубокое убѣжденіе, что движенія небесныхъ тѣлъ вокругъ солнца могутъ быть объяснены дѣйствіемъ центральныхъ силъ, придало особенный интересъ этимъ механическимъ изслѣдованіямъ въ разсматриваемый нами періодъ. И въ самомъ дѣлѣ, не легко изложить отдѣльно прогрессъ Механики и прогрессъ Астрономіи, какъ этого требуетъ цѣль нашего сочиненія. Однакоже различіе между этими двумя предметами довольно отчетливо обозначается самой природой ихъ. Это различіе не меньше того, какое существуетъ между человѣкомъ говорящимъ только логически и — говорящимъ истину. Ученые, разработывавшіе науку о движеніи, занимались установленіемъ только понятій, терминовъ и правилъ, согласно съ которыми должна была выражаться впослѣдствіи *каждая* механическая истина; но опредѣленіе того, *что* именно *истинно* въ механизмѣ вселенной, должны были рѣшить другіе и другими средствами. Въ періодъ, о которомъ мы говоримъ, Физическая Астрономія такъ же преобладала надъ теоретической Механикой, какъ нѣ-

сколько прежде Динамика преобладала надъ Статикой, и оттѣснила ее на задній планъ.

Законы криволинейнаго движенія подъ вліяніемъ различныхъ измѣняющихся силъ не могли быть развиваемы далѣе до тѣхъ поръ, пока изобрѣтеніе Дифференціальнаго Исчисленія снова не навело вниманія математиковъ на предметы астрономіи, на которыхъ легко и любопытно можно было показать всю силу этихъ новыхъ методовъ. Замѣчательное исключеніе изъ этого представляютъ Principia Ньютона, въ которыхъ двѣ первыя книги имѣютъ чисто динамическое содержаніе; они заключаютъ въ себѣ правильное рѣшеніе множества общихъ проблемъ науки и даже теперь представляютъ собой самый полный трактатъ, какой только мы имѣемъ объ этомъ предметѣ.

Мы видѣли, что Кеплеръ въ своихъ попыткахъ объяснить криволинейное движеніе планетъ посредствомъ центральной силы потерпѣлъ неудачу вслѣдствіе того, что онъ предполагалъ, будто для такого движенія необходимо постоянное поперечное или тангенціальное дѣйствіе силы центральнаго тѣла. Галилей основалъ свою теорію брошенныхъ тѣлъ на томъ принципѣ, что такого дѣйствія не нужно; но Борелли, ученикъ Галилея, напечатавшій свою теорію Медицейскихъ Звѣздъ (спутниковъ Юпитера) въ 1666 г., повторилъ хотя и недостаточно ясно ту же ошибку, которая спутала умозаключенія Галилея. Подобнымъ образомъ и Декартъ, хотя его нѣкоторые и называютъ основателемъ Перваго Закона Движенія, составилъ свою теорію Вихрей только потому, что онъ не вполнѣ понималъ этотъ законъ. Онъ представлялъ, что

планеты и ихъ спутники имѣютъ собственное движеніе и вращаются вокругъ центральныхъ тѣлъ въ океанѣ жидкости, разлитой по небеснымъ пространствамъ, такъ какъ онъ не могъ допустить, чтобы планеты исполняли законы движенія въ пустомъ пространствѣ. Однако основательные физики начали понимать истинную сущность вопроса. Мы читаемъ въ журналахъ Королевскаго Общества въ 1666 г., что ему «представлена была записка Гука, объясняющая уклоненіе прямолинейнаго движенія въ круговое дѣйствіемъ притягательной силы;» и еще до изданія «Principia» въ 1687 г. Гюйгенсъ, какъ мы видѣли, въ Голландіи, Вренъ, Галлей и Гукъ въ Англіи уже сдѣлали нѣкоторый прогрессъ въ вѣрномъ пониманіи круговаго движенія *) и ясно представляли себѣ проблему движенія тѣла, движущагося по эллипсису отъ дѣйствія на него центральной силы, хотя и не могли разрѣшить ее. Галлей пріѣзжалъ въ Кембриджъ въ 1684 г. **) нарочно для того, чтобы посовѣтоваться съ Ньютономъ о возможности эллиптическаго движенія планетъ отъ дѣйствія центральной силы, и 10 декабря †) объявилъ королевскому обществу, что онъ видѣлъ книгу Ньютона «De Motu Corporum». Предчувствіе того, что математики находятся наканунѣ великихъ открытій подобныхъ тѣмъ, какія заключаются въ этой книгѣ, было такъ сильно, что королевское общество просило Галлея напомнить Ньютону объ его обѣщаніи тотчасъ же внести его открытія въ реэстръ общества

*) Newt. Princip. Schol. to Prop. IV.

**) Sir D. Brewster's *Life of Newton*, p. 154. †) Ibid. p. 1??.



«для того, чтобы обезпечить за нимъ право на первое открытіе до тѣхъ поръ, пока онъ не опубликуетъ своихъ открытій.» Поэтому онъ и представилъ Обществу 28 апрѣля 1686 г. свою рукопись подъ заглавіемъ «Philosophiae Naturalis Principia Mathematica», которая была посвящена Обществу. Докторъ Винцентъ, представившій ее, говорилъ о новости и важности ея содержанія; а президентъ (сэръ I. Госкинсъ) справедливо прибавилъ, что «методъ тѣмъ болѣе драгоцѣненъ, что онъ изобрѣтенъ и вмѣстѣ съ тѣмъ усовершенствованъ.»

Читатель долженъ помнить, что здѣсь мы говоримъ о «Principia» только какъ о математическомъ трактатѣ, а впослѣдствіи мы будемъ разсматривать заключающіяся въ нихъ величайшія открытія по Физической Астрономіи. Какъ динамическое сочиненіе, они драгоцѣнны тѣмъ, что заключаютъ въ себѣ удивительный запасъ искусныхъ и остроумныхъ математическихъ пріемовъ, приложенныхъ къ разрѣшенію самыхъ общихъ проблемъ Динамики. О «Principia» едвали можно сказать, что они содержатъ въ себѣ какое-нибудь индуктивное открытіе относительно принциповъ механики; потому что хотя Ньютоновы Аксіомы или Законы Движенія, изложенные въ началѣ книги, и представляютъ собой самое ясное и самое общее формулированіе законовъ Механики, какое только было сдѣлано доселѣ, однако они не заключаютъ въ себѣ ни одного положенія, которое бы не было прежде установлено или предполагаемо другими математиками.

Однако это сочиненіе, независимо отъ своего несравненнаго математическаго остроумія, употребленна-

го на дедуктивный выводъ слѣдствій изъ законовъ движенія, и независимо отъ величайшихъ космическихъ открытій, о которыхъ будемъ говорить впослѣдствіи, имѣетъ еще великое философское значеніе въ исторіи Динамики, потому что въ немъ ясно представлена идея новаго характера и задачъ этой науки. Въ своемъ предисловіи Ньютонъ говоритъ: «Раціональная механика должна быть наукой о всѣхъ Движеніяхъ, отъ какой бы Силы они ни происходили, и о всѣхъ Силахъ, какое бы Движеніе онѣ ни производили; тѣ и другія должны быть твердо опредѣлены и доказаны. Потому что многія вещи заставляютъ меня предполагать, что можетъ быть всѣ явленія природы зависятъ отъ нѣсколькихъ Силъ, отъ дѣйствія которыхъ частички тѣлъ или притягиваются другъ къ другу и сцѣпляются, или же отталкиваются и отходятъ одна отъ другой: и такъ какъ эти Силы до сихъ поръ неизвѣстны, то всѣ поиски философствующихъ умовъ остаются напрасными. И я надѣюсь, что принципы, изложенные въ этомъ сочиненіи прольютъ нѣкоторый свѣтъ или на этотъ способъ философствованія, или же на какой-нибудь другой болѣе вѣрный.»

Но прежде чѣмъ продолжать далѣе этотъ предметъ, мы должны еще докончить исторію Третьяго Закона Движенія.

§ 2. Обобщеніе Третьяго Закона Движенія.—Центръ Качанія.—Гюйгенсъ.

Третій Законъ Движенія, выраженный ли въ формулѣ Ньютона (Дѣйствіе равно Противодѣйствію) или какимъ-

нибудь другимъ образомъ употребительнымъ въ то время, легко давалъ рѣшеніе механическихъ проблемъ во всѣхъ случаяхъ прямаго дѣйствія, т. е. когда одно тѣло прямо и непосредственно дѣйствуетъ на другое. Но оставались еще проблемы, въ которыхъ дѣйствіе бываетъ непрямое, т. е. когда одно тѣло дѣйствуетъ на другія посредствомъ рычага или другимъ какимъ образомъ. Если твердый прутъ, на который надѣто двѣ тяжести, заставить качаться около верхней его точки наподобіе маятника, то одна тяжесть будетъ дѣйствовать на другую и противодѣйствовать ей чрезъ прутъ, на который можно смотрѣть какъ на рычагъ, вращающійся около точки привѣса. Въ этомъ случаѣ каковъ будетъ эффектъ дѣйствія и противодѣйствія? Въ какое время маятникъ будетъ совершать свои качанія отъ дѣйствія силы тяжести? Гдѣ на прутѣ, въ какомъ разстояніи отъ точки его привѣса находится та точка, въ которую если повѣсить другую простую тяжесть, то она будетъ совершать свои качанія въ такое же время, какъ и описанный маятникъ съ двумя тяжестями? или другими словами: гдѣ Центръ Качанія?

Эту проблему, составляющую только частный случай общей проблемы непрямаго дѣйствія, предстояло рѣшить математикамъ. Что очень нелегко было увидѣть, какимъ образомъ законъ передачи движенія отъ простыхъ случаевъ перенести на тѣ случаи, гдѣ происходитъ вращательное движеніе, это видно изъ того, что Ньютонъ при разрѣшеніи механической проблемы Предваренія Равноденствій впалъ въ серьёзную ошибку относительно этого предмета. Онъ принималъ,

что когда часть тѣла сообщаетъ движеніе всей его массѣ (что бываетъ напр. когда самая выступающая, экваторіальная часть земнаго сфероида притягивается солнцемъ и луной и тѣмъ сообщаетъ слабое вращательное движеніе всей массѣ земли), тогда количество движенія, или «motus», какъ онъ выражался, не измѣняется вслѣдствіе этого сообщенія. Этотъ принципъ вѣренъ, если подъ движеніемъ понимать то, что называется въ статикѣ моментомъ инерціи,— величину, въ которой берутся въ разсчетъ скорость каждой частички тѣла и ихъ разстояніе отъ оси вращенія: но Ньютонъ въ своихъ вычисленіяхъ принималъ только скорость и такимъ образомъ движеніе отожествлялъ съ моментомъ, который онъ ввелъ въ разсмотрѣніе простаго случая третьяго закона движенія, когда дѣйствіе бываетъ прямое. Эта ошибка была удержана даже въ позднѣйшихъ изданіяхъ «Principia».*)

Вопросъ о центрѣ качанія былъ предложенъ Мерсенномъ нѣсколько раньше, въ 1646 г. **). И хотя проблема была неразрѣшима посредствомъ принциповъ, извѣстныхъ и понятыхъ въ то время, однако нѣкоторые математики правильно разрѣшали нѣкоторые случаи ея, дѣйствуя такимъ способомъ, какъ будто-бы вопросъ состоялъ въ томъ, чтобы найти Центръ Толчка. Центръ Толчка есть точка, около которой моменты всѣхъ частей тѣла уравновѣшиваютъ другъ друга, если тѣло вращается около оси, такъ что если въ эту точку ударитъ препятствіе, то вращеніе оста-

---

*) B. III. Lemma III. to Prop. XXIX.

**) Montucla. *Hist. des Math.* II, 423.



навливается. Роберваль нашелъ этотъ центръ толчка тѣлъ для многихъ простыхъ случаевъ. Декартъ также пытался разрѣшить проблему и его результаты подали поводъ къ горячимъ спорамъ съ Робервалемъ. Въ этомъ случаѣ, какъ вообще при всѣхъ своихъ физическихъ философствованіяхъ, Декартъ былъ слишкомъ заносчивъ, хотя только на половину правъ.

Гюйгенсъ былъ еще мальчикомъ, когда Мерсеннъ предложилъ эту проблему, и, какъ онъ самъ говоритъ *), не могъ найти принципа, который бы могъ повести къ рѣшенію, и такимъ образомъ она устрашила его самымъ видомъ своимъ. И однакоже въ его «Horologium Oscillatorium», напечатанномъ въ 1673 г., четвертая часть занята изслѣдованіемъ о Центрѣ Качанія, или Ажитаціи, какъ онъ выражался; и хотя принципъ, установленный имъ здѣсь, былъ не столь простъ и очевиденъ, какъ тѣ принципы, къ которымъ эта проблема сведена была впослѣдствіи, однако онъ былъ совершенно вѣренъ и всеобщъ и давалъ точныя рѣшенія во всѣхъ случаяхъ. Читатель уже нѣсколько разъ видѣлъ въ теченіе этой исторіи, что принципы болѣе сложные и производные представляются человѣческому уму прежде, чѣмъ простые и элементарные. Гипотеза, принятая Гюйгенсомъ, состояла въ слѣдующемъ: «если нѣсколько тяжелыхъ тѣлъ приведены въ движеніе силой тяжести, то они не могутъ двигаться такъ, чтобы ихъ центръ тяжести поднимался выше того мѣста, съ котораго онъ сталъ опускаться.» При такомъ предположеніи легко дока-

*) Hor. Oscil. praef.



вать, что центръ тяжести, при всѣхъ обстоятельствахъ, будетъ подниматься такъ высоко, какъ было его первоначальное положеніе; а это соображеніе ведетъ къ опредѣленію качанія сложнаго маятника. Въ этомъ, такимъ образомъ выраженномъ принципѣ, заключается уже мысль, что во всякомъ механическомъ дѣйствіи центръ тяжести можетъ считаться представителемъ всей системы. Эта мысль, какъ мы видѣли, могла быть выведена изъ аксіомы Архимеда и Стевина; и Гюйгенсъ, занимаясь этимъ предметомъ, старается показать, что онъ своимъ положеніемъ утверждаетъ только то, что тяжелое тѣло само собой не можетъ двигаться впередъ. *)

Какъ ни яснымъ казался Гюйгенсу его принципъ, однако чрезъ нѣсколько времени на него напалъ аббатъ Кателанъ, ревностный картезіанецъ. Кателанъ выставилъ свои принципы, которые казались ему очевидными, и вывелъ изъ нихъ заключенія, противорѣчащія заключеніямъ Гюйгенса. Его принципы теперь, когда мы знаемъ, что они ложны, кажутся намъ весьма произвольными. Они состояли въ слѣдующемъ: «въ сложномъ маятникѣ сумма скоростей отдѣльныхъ тяжестей равна суммѣ скоростей, которую онѣ пріобрѣли бы, еслибы онѣ были отдѣльными маятниками;» — «время качанія сложнаго маятника есть среднее число изъ временъ качаній отдѣльныхъ тяжестей, еслибы онѣ были отдѣльными маятниками.» Гюйгенсъ легко показалъ, что по этимъ предположеніямъ центръ тяжести поднялся бы выше той высоты, съ какой онъ

*) Hor. Osc. p. 121.



началъ падать. Чрезъ нѣсколько времени Яковъ Бернулли выступилъ на это поле битвы и сталъ на сторонѣ Гюйгенса. Во время возникшаго такимъ образомъ спора стало ясно, что вопросъ въ сущности состоялъ въ томъ, какимъ образомъ можно примѣнить Третій Законъ Движенія къ случаямъ непрямаго дѣйствія; нужно ли раздѣлять дѣйствіе отъ противодѣйствія, согласно статитическимъ принципамъ, или же поступать иначе? «Я предлагаю на разрѣшеніе математиковъ, говоритъ Бернулли, въ 1686 г., слѣдующій вопросъ: каковъ законъ сообщенія скорости у тѣхъ движущихся тѣлъ, которыя на одномъ своемъ концѣ поддерживаются твердой подпоркой, а на другомъ какимъ-нибудь другимъ тѣломъ, которое также движется, хотя медленнѣе? Распредѣляется ли излишекъ скорости, который сообщается отъ перваго тѣла второму, въ такой пропорціи, въ какой распредѣляется тяжесть, поддерживаемая рычагомъ?» Затѣмъ онъ прибавляетъ, что если этотъ вопросъ разрѣшается утвердительно, тогда Гюйгенсъ значитъ ошибался. Но это—недоразумѣніе. Принципъ, что дѣйствіе и противодѣйствіе движущихся такимъ образомъ тѣлъ распредѣляется такъ, какъ въ рычагѣ,—вѣренъ; но Бернулли ошибался, когда думалъ измѣрять это дѣйствіе и противодѣйствіе скоростью, какую имѣютъ тѣла въ каждое мгновеніе, вмѣсто того, чтобы принять за эту мѣру наростаніе скорости, которое сообщаетъ тяжесть тѣламъ въ каждое слѣдующее мгновеніе. Это было указано маркизомъ Лопиталемъ, который совершенно основательно замѣтилъ при этомъ, что онъ отозвался на вызовъ Бернулли, кото-

рый требовалъ, чтобы математики разрѣшили этотъ предметъ математическимъ путемъ.

Мы можемъ поэтому сказать, что съ этого времени сталъ извѣстенъ, хотя и не вполнѣ былъ доказанъ, слѣдующій принципъ: «когда тѣла, находящіяся въ движеніи, дѣйствуютъ другъ на друга, то дѣйствіе и противодѣйствіе ихъ распредѣляются по законамъ Статики.» При этомъ, конечно, все-еще оставались разныя случайныя трудности при обобщеніи и приложеніи этого правила. Яковъ Бернулли, въ 1703 г., представилъ «общее доказательство для опредѣленія Центра Качанія, основанное на Теоріи Рычага». Въ этомъ доказательствѣ *) онъ выходитъ изъ основнаго принципа, что движущіяся тѣла, соединенныя посредствомъ рычага, приходятъ въ равновѣсіе тогда, когда произведеніе ихъ моментовъ на длины плечъ рычаговъ равны въ противоположныхъ направленіяхъ. Для доказательства этого положенія онъ ссылается на Маріотта, который доказалъ это положеніе для удара тѣлъ **) и который съ этой цѣлью уравновѣшивалъ дѣйствіе тяжести на рычагъ дѣйствіемъ на него струи воды и подтвердилъ свое положеніе еще другими опытами. †) Кромѣ того, говоритъ Бернулли, это такой принципъ, котораго никто не отрицаетъ. Однакоже подобнаго рода доказательство едвали можетъ считаться достаточно удовлетворительнымъ и элементарнымъ. Поэтому Иванъ Бернулли снова занялся этимъ предметомъ по смерти брата своего Якова, скончавшагося въ 1705.

*) Op. II. 930. **) Choq. des Corps, p. 296.

†) Ibid. prop. XI.

году. Онъ напечаталъ въ 1714 г. свое «Meditatio de natura centri oscillationis». Въ этомъ мемуарѣ онъ утверждаетъ подобно своему брату, что дѣйствіе силъ на движущійся рычагъ распредѣляется по обыкновеннымъ законамъ рычага *). Существенное обобщеніе, введенное имъ, состояло въ томъ, что онъ смотрѣлъ на тяжесть, стремящуюся двигать тѣла, какъ на силу, которая можетъ имѣть различное напряженіе въ различныхъ тѣлахъ. Въ тоже время Брукъ Тайлоръ въ Англіи разрѣшилъ ту же проблему на основаніи тѣхъ же принциповъ, какъ и Бернулли, вслѣдствіе чего возникъ сильный споръ о правѣ на это открытіе между англійскими и континентальными математиками. Германнъ въ своей «Phoronomia», напечатанной въ 1716 г., представилъ свое собственное доказательство, которое, какъ онъ увѣряетъ, онъ придумалъ еще прежде, чѣмъ узналъ о доказательствѣ Ивана Бернулли. Его доказательство основано на статическомъ эквивалентѣ между solicitatio gravitatis и vicaria solicitatio, которыя соотвѣтствуютъ дѣйствительному движенію каждой части, или, какъ говорится въ новой механикѣ, на равновѣсіи между сообщенными и дѣйствующими силами.

Иванъ Бернулли и Германнъ показали, — и это въ самомъ дѣлѣ легко было показать, — что положеніе, принятое Гюйгенсомъ въ основаніе его рѣшенія, было на дѣлѣ только послѣдствіемъ элементарныхъ принциповъ, относящихся къ этой отрасли механики. Но, кромѣ того, это положеніе Гюйгенса подало поводъ къ болѣе общему принципу, который нѣкоторыми ма-

*) Meditatio et cact., p. 172.

тематиками этого времени былъ установленъ и развитъ, какъ оригинальный и элементарный законъ, и который сдѣлалъ излишней употреблявшуюся до сихъ поръ мѣру силы въ движущихся тѣлахъ. Этотъ принципъ они назвали закономъ «Сохраненія Живой Силы». Попытки произвести эту перемѣну и дать общую силу этому закону послужили поводомъ къ самымъ сильнымъ и любопытнымъ спорамъ, какіе когда-либо бывали въ исторіи механики. Знаменитый Лейбницъ первый открылъ этотъ новый законъ. Въ 1686 г. въ лейпцигскихъ «Actis Eruditor» была напечатана его статья подъ заглавіемъ: «Краткое доказательство замѣчательной ошибки Декарта и другихъ насчетъ закона природы, посредствомъ котораго, какъ они думали, Богъ сохраняетъ всегда одинаковое количество движенія въ природѣ и который однако извращалъ всю механику.» Принципъ, что въ мірѣ постоянно сохраняется одинаковое количество движенія, а слѣдовательно и движущей силы, вытекаетъ изъ равенства между дѣйствіемъ и противодѣйствіемъ. Однако Декартъ по своему обыкновенію, въ подтвержденіе этого принципа, ссылался на теологическое основаніе. Лейбницъ соглашался, что количество движущей силы всегда остается одинаково, но только отрицалъ, что оно можетъ быть измѣряемо количествомъ движенія или моментомъ. Онъ утверждалъ, что нужно одинаковое количество силы, какъ для того, чтобы поднять тяжесть въ одинъ фунтъ на четыре фута, такъ и для того, чтобы поднять тяжесть въ четыре фунта на одинъ футъ, хотя моменты въ этихъ случаяхъ относятся какъ 1 : 2. Противъ этого возразилъ аббатъ Конти, что если даже и до-

пустить, что дѣйствія въ обоихъ случаяхъ одинаковы, то это не доказываетъ еще, что и силы въ обоихъ случаяхъ также одинаковы; потому что дѣйствіе въ первомъ случаѣ производится во время вдвое большее и поэтому можно принимать, что здѣсь дѣйствуетъ сила вдвое меньшая. Однако Лейбницъ стоялъ на своемъ нововведеніи, и въ 1695 г. установилъ различіе между мертвыми силами (vires mortuæ) или давленіями и живыми силами (vires vivæ); послѣдній терминъ онъ употребилъ для обозначенія введенной имъ мѣры силъ. Онъ началъ переписку съ Иваномъ Бернулли, котораго и обратилъ къ своимъ мнѣніямъ объ этомъ предметѣ, или лучше, какъ выражается самъ Бернулли *), заставилъ его самого подумать объ этомъ; и переписка эта кончилась тѣмъ, что Бернулли, доказалъ прямо то, что Лейбницъ защищалъ не прямыми основаніями. Между другими аргументами, Бернулли старался доказать (что, конечно, не вѣрно), что если принять общепринятую до сихъ поръ мѣру силы, то изъ нея будетъ слѣдовать возможность вѣчнаго движенія (perpetuum mobile). Было бы легко представить множество случаевъ, которые, при помощи этого принципа сохраненія живой силы, могли бы разрѣшиться весьма просто и удобно, если принять, что сила пропорціональна квадрату скоростей, а не самой скорости (что однако есть на дѣлѣ). Такъ напр., чтобы дать стрѣлѣ вдвое большую скорость, лукъ долженъ быть натянутъ вчетверо сильнѣе, и такимъ образомъ это положеніе можно примѣнить ко всѣмъ случаямъ, гдѣ

*) Op. III. 40.



не берется во вниманіе время, въ которое должно производится опредѣленное дѣйствіе.

Но этотъ предметъ обратилъ на себя вниманіе только въ позднѣйшій періодъ. Парижская Академія Наукъ въ 1724 г. предложила на премію вопросъ о законахъ толчка тѣлъ. Бернулли, какъ соискатель на премію, написалъ трактатъ объ этомъ предметѣ, основанный на принципахъ Лейбница; и хотя самый трактатъ не былъ удостоенъ преміи, но былъ напечатанъ академіей съ похвальнымъ отзывомъ *). Мнѣнія, защищаемыя и доказанныя въ этомъ сочиненіи, были приняты многими математиками. Но споръ объ немъ скоро перешелъ отъ математиковъ къ литераторамъ вообще; такъ какъ въ это время математическіе споры возбуждали большій интересъ къ себѣ, чѣмъ это бываетъ, именно оттого, что въ то время шла общая оживленная борьба между картезіанской и ньютоновой системой. Тѣмъ неменѣе было очевидно, что интересъ этихъ вопросовъ, насколько они касались принциповъ Динамики, приходилъ къ концу; потому что спорившіе соглашались между собой въ результатахъ въ каждомъ частномъ случаѣ. Законы Движенія были теперь уже установлены, и вопросъ былъ только въ томъ, въ какихъ опредѣленіяхъ и отвлеченіяхъ лучше выразить ихъ; но это вопросъ метафизическій, а не физическій, и такимъ образомъ въ рѣшеніи его могли принимать участіе книжные философы, какъ ихъ назвалъ Галилей. Въ I томѣ Мемуаровъ Петербург-

*) Discours sur les Loix de la Communication du Mouvement.



ской Академіи, напечатанныхъ въ 1728 г., заключалось три лейбниціанскихъ трактата — Германа, Бульфингера и Вольфа. Въ Англіи Кларкъ былъ ревностнымъ противникомъ мнѣній Германа, которыя защищалъ Гравезандъ. Во Франціи Меранъ опровергалъ живую силу, въ 1728 г., сильными и побѣдоносными доказательствами, какъ замѣтила маркиза дю-Шатле въ первомъ изданіи своего «Трактата объ Огнѣ» *). Но вскорѣ потомъ замокъ Сирей, гдѣ обыкновенно жила маркиза, сдѣлался школой лейбницевскихъ воззрѣній и сборнымъ пунктомъ главныхъ приверженцевъ живой силы. Скоро, замѣчаетъ Меранъ, измѣнился ихъ языкъ; живая сила была поставлена на тронъ вмѣстѣ съ монадами. Маркиза взяла назадъ похвалы, которыя она прежде расточала Мерану и собирала аргументы для другой стороны. Но вопросъ еще долго оставался нерѣшеннымъ и даже ея другъ, Вольтеръ, не былъ обращенъ. Въ 1741 г. онъ написалъ мемуаръ «о Мѣрѣ и Сущности Движущихъ Силъ», въ которомъ онъ защищалъ старыя воззрѣнія. Наконецъ д'Аламберъ въ 1743 г. объявилъ, что весь этотъ споръ есть только споръ о словахъ, какъ это и было на дѣлѣ. И такъ какъ Динамика въ то время приняла другое направленіе, то подобный споръ не могъ уже имѣть ни интереса, ни важности для математиковъ.

Законы движенія и вытекающія изъ нихъ заключенія были приведены въ самую общую форму и выражены аналитическимъ языкомъ только во времена

*) Montucla, *Hist. des Mathem.*, III, 640.

д'Аламбера; но мы уже видѣли, что открытіе этихъ законовъ произошло нѣсколько раньше; и законъ, выраженный собственно д'Аламберомъ (равенство пріобрѣтеннаго и потеряннаго дѣйствія), былъ открытъ не однимъ человѣкомъ, но общимъ потокомъ умозаключеній нѣсколькихъ математиковъ въ концѣ XVII столѣтія. Гюйгенсъ, Маріоттъ, Яковъ и Иванъ Бернулли, Лопиталь, Тайлоръ и Германъ пріобрѣли себѣ имя въ исторіи этого прогресса динамики; но ни одинъ изъ нихъ не обнаружилъ великихъ чисто индуктивныхъ способностей въ томъ, что онъ сдѣлалъ, исключая Гюйгенса, который представилъ принципъ до такой степени ясно, что онъ привелъ его къ открытію Центра Качанія у всѣхъ тѣлъ. И въ самомъ дѣлѣ для писателей, развивавшихъ принципъ Гюйгенса, самый языкъ, принятый въ то время, дѣлалъ обобщенія и указанія; при всемъ томъ требовалось еще много точности и остроумія, чтобы различать старые случаи, къ которымъ законъ былъ уже приложенъ, отъ новыхъ, къ которымъ его слѣдовало прилагать.

ГЛАВА VI.

Послѣдствія обобщенія принциповъ механики.— Періодъ математической дедукціи —Аналитическая механика.

Мы уже кончили теперь исторію открытія собственно такъ-называемыхъ Механическихъ Принциповъ; три Закона Движенія, обобщенные описаннымъ нами образомъ, заключали въ себѣ матеріалъ для цѣлаго зданія Механики и въ дальнѣйшей исторіи науки мы болѣе не встрѣтимъ новыхъ истинъ, которыя бы уже не содержались въ истинахъ извѣстныхъ прежде. Поэтому можетъ показаться, что дальнѣйшій нашъ разсказъ будетъ имѣть сравнительно меньше интереса. Мы не станемъ утверждать, что приложеніе и развитіе принциповъ столь же важно для философіи науки, какъ и самыя открытія ихъ. Тѣмъ неменѣе есть и въ этихъ послѣднихъ стадіяхъ развитія Механики стороны, которыя заслуживаютъ полнаго нашего вниманія, и дѣлаютъ обзоръ этой части ея исторіи весьма необходимымъ для нашей цѣли.

Законы Движенія выражены терминами Пространства и Числа. Выводъ слѣдствій изъ этихъ законовъ можетъ быть сдѣланъ только математикой, какъ наукой, занимающейся пространствомъ и числомъ; и самая механика принимаетъ различный видъ вслѣдствіе различныхъ пріемовъ надъ математическими количествами. Поэтому механика, подобно чистой математикѣ, можетъ быть геометрической и аналитической, т. е. она можетъ изучать пространство или прямымъ разсмотрѣніемъ его свойствъ, или символическимъ представленіемъ ихъ; подобно чистой математикѣ, она можетъ восходить отъ частныхъ случаевъ къ проблемамъ и методамъ самымъ общимъ,—можетъ обращать въ помощь себѣ любопытные и остроумные способы исчисленія, посредствомъ которыхъ упрощаются общія и сложныя задачи, — можетъ заимствовать себѣ силу отъ новыхъ открытій и пріемовъ математическихъ,— можетъ наконецъ еще болѣе обобщать свои общія принципы, такъ такъ символы составляютъ болѣе общій языкъ, чѣмъ слова. Мы должны здѣсь кратко изложить рядъ подобныхъ ступеней развитія механики.

1. Геометрическая механика. Ньютонъ.—Первый великій систематическій трактатъ о механикѣ въ самомъ общемъ смыслѣ этого слова заключается въ двухъ первыхъ книгахъ «Principia» Ньютона. Методъ, преимущественно употребляющійся въ этомъ сочиненіи, есть геометрическій; въ немъ пространство нетолько представляется символически, или посредствомъ чиселъ, но и самыя числа, какъ напр. тѣ, которыя служатъ мѣрой времени и силы, представляются подъ видомъ пространства, и законы ихъ измѣненій тоже

выражаются только свойствами кривыхъ линій. Извѣстно, что Ньютонъ употреблялъ преимущественно методъ этого рода при изложеніи своихъ теоремъ даже тогда, когда онъ открывалъ ихъ посредствомъ аналитическихъ вычисленій. Представленія и воззрѣнія пространства казались ему, также какъ и многимъ изъ его послѣдователей, болѣе ясными и надежными путемъ къ знанію, чѣмъ операціи надъ символическимъ языкомъ чиселъ. Германъ, котораго «Phoronomia» была другимъ великимъ сочиненіемъ о механикѣ, слѣдовалъ тѣмъ же путемъ, употребляя въ дѣло кривыя, которыя онъ назвалъ скалами скоростей, силъ и пр. Методы близко похожіе на эти употребляли также оба Бернулли и другіе математики этого періода. И вообще эти методы были такъ обыкновенны, что вліяніе ихъ видно въ терминахъ, которые употребляются и до настоящаго времени, напр. въ выраженіи: приведеніе проблемы къ квадратурамъ, когда отыскивается площадь кривыхъ, употребляемыхъ при этомъ методѣ.

2. Аналитическая механика. Эйлеръ. — Такъ какъ анализъ былъ болѣе обработанъ, то онъ и пріобрѣлъ преобладаніе надъ геометріей; такъ какъ онъ считался болѣе могущественнымъ орудіемъ для полученія результатовъ и имѣлъ въ себѣ прелесть и очевидность, хотя и отличныя отъ геометрическихъ, но очень привлекательныя для умовъ, привыкшихъ къ аналитическому языку. Человѣкъ, сдѣлавшій весьма многое для приданія анализу общности и симметріи, которыми мы нынѣ гордимся, былъ вмѣстѣ съ тѣмъ и творцомъ аналитической механики. Это былъ Эй-

леръ. Онъ началъ свои изслѣдованія объ этомъ предметѣ въ различныхъ запискахъ, помѣщавшихся въ Мемуарахъ Петербургской Академіи Наукъ, начиная съ первыхъ ихъ томовъ, и въ 1736 г. онъ напечаталъ свою «Mechanica seu motus scientia» въ видѣ приложенія къ мемуарамъ академіи. Въ предисловіи къ этому сочиненію онъ говоритъ, что хотя рѣшенія проблемъ Ньютона и Германа совершенно удовлетворительны, однако онъ нашелъ нѣкоторыя трудности въ приложеніи ихъ къ новымъ проблемамъ, нѣсколько отличающимся отъ ихъ проблемъ, а что поэтому онъ считаетъ полезнымъ извлечь анализъ изъ ихъ синтеза.

3. Механическія проблемы. Но на дѣлѣ Эйлеръ нетолько представилъ аналитическіе методы, которые могутъ быть приложены къ механическимъ процессамъ, но сдѣлалъ гораздо болѣе; онъ самъ приложилъ такія проблемы къ безчисленному множеству частныхъ случаевъ. Его высокій математическій талантъ, его долгая и трудолюбивая жизнь и тотъ интересъ, съ какимъ онъ занимался своимъ предметомъ, дали ему возможность разрѣшить безчисленное множество различныхъ механическихъ проблемъ. Подобныя проблемы сами собой представлялись ему на каждомъ шагу. Одинъ изъ своихъ мемуаровъ онъ начинаетъ разсказомъ, что, вспомнивъ однажды стихъ Виргилія:

Anchora de prora jacitur stant littore puppes,

онъ тотчасъ же принялся за изслѣдованіе того, каково должно быть движеніе корабля при описанныхъ здѣсь обстоятельствахъ. Въ послѣдніе дни своей жизни, когда

его уже мучила смертельная болѣзнь, онъ прочиталъ въ газетахъ нѣсколько извѣстій о воздушныхъ шарахъ, и тотчасъ же принялся вычислять движеніе ихъ и произвелъ трудную интеграцію, которой потребовало это вычисленіе. Его Мемуары занимали большую часть изданій Петербургской Академіи съ 1728 до 1783 г. Онъ обѣщалъ, что оставитъ послѣ себя столько статей, что ихъ хватитъ для изданій академіи лѣтъ на двадцать послѣ его смерти и обѣщаніе это онъ исполнилъ почти вдвое; потому что до самаго 1818 г. въ изданіяхъ академіи печатались многіе его мемуары. Можно сказать, что онъ и его современники исчерпали этотъ предметъ, потому что между механическими проблемами, разрѣшенными впослѣдствіи, было мало такихъ, которыхъ они не коснулись бы какимъ-нибудь образомъ.

Я не буду здѣсь останавливаться на подробностяхъ этихъ проблемъ; потому что дальнѣйшій шагъ въ Аналитической Механикѣ, обнародованіе принципа д'Аламбера въ 1743 г., возбудило къ себѣ общій интересъ и отодвинуло на задній планъ эти проблемы. Мемуары академій Парижской, Берлинской и Петербургской, относящіеся къ этому времени, полны изслѣдованіями о вопросахъ этого рода. Эти изслѣдованія по большей части занимаются опредѣленіемъ движеній различныхъ тѣлъ съ тяжестями или безъ тяжестей, дѣйствующихъ другъ на друга чрезъ проволоки, или рычаги, къ которымъ они прикрѣплены или по длинѣ которыхъ они могутъ скользить,—тѣлъ, которыя, послѣ даннаго имъ первоначальнаго толчка, или предоставляются сами себѣ въ свободномъ пространствѣ,

или приводятся въ движеніе по даннымъ кривымъ и плоскостямъ. Принципъ Гюйгенса о движеніи центра тяжести обыкновенно былъ основаніемъ для этихъ рѣшеній; но и другіе принципы также по необходимости принимались въ соображеніе, и требовалось много остроумія и искусства, чтобы найти принципъ самый лучшій для даннаго случая. Такія проблемы долгое время считались пробнымъ камнемъ для математическихъ талантовъ, и только принципъ д'Аламбера положилъ конецъ всѣмъ состязаніямъ объ этихъ проблемахъ: такъ какъ онъ давалъ прямой и общій методъ для разрѣшенія всякой возможной проблемы, выражая ее дифференціальными уравненіями, которыя уже рѣшались чисто математически. Такимъ образомъ трудности механическія были сведены къ трудностямъ чисто математическимъ.

4. Принципъ д'Аламбера.—Принципъ д'Аламбера есть только выраженіе въ болѣе общей формѣ того принципа, которымъ пользовались Иванъ Бернулли, Германъ и другіе при разрѣшеніи проблемы центра качанія. Онъ былъ выраженъ такимъ образомъ: «движеніе, сообщенное каждой части какой-нибудь системы дѣйствующими на нее силами, можетъ быть раздѣлено на два движенія, на движеніе дѣйствующее, или эффективное и движеніе, пріобрѣтенное или потерянное; эффективное движеніе есть дѣйствительно существующее движеніе системы и всѣхъ ея частей, а потерянное или пріобрѣтенное движеніе есть такого рода движеніе, что еслибы только одно находилось въ системѣ, то держало бы ее въ равновѣсіи.» Вслѣдствіе этого различіе между Статикой, или ученіемъ о равновѣсіи, и Динамикой,

или ученіемъ о движеніи, стало существеннымъ, и математики поняли и признали, что между этими двумя частями науки есть разница въ трудности и сложности. Принципъ д'Аламбера всякій динамическій вопросъ переводитъ въ вопросъ статическій, и вслѣдствіе этого, при помощи условій, соединяющихъ всѣ возможныя движенія системы, мы можемъ опредѣлить ея дѣйствительное движеніе. Однакоже трудность опредѣленія законовъ равновѣсія посредствомъ этого принципа въ приложеніи его къ сложнымъ случаямъ часто бываетъ такъ же велика, какъ и при опредѣленіи посредствомъ болѣе простыхъ и прямыхъ соображеній. (Дѣйствительно интеграція дифференціальныхъ уравненій, получаемыхъ посредствомъ этого принципа, часто представляетъ большія трудности; но эти трудности принадлежатъ математикѣ, а не механикѣ, и онѣ становятся меньше по мѣрѣ того, какъ совершенствуется математическій анализъ. Конечно есть и теперь нѣкоторые случаи, гдѣ другія простыя и прямыя соображенія скорѣе и удобнѣе ведутъ къ цѣли; но это такъ же мало можетъ ослабить значеніе и превосходство предложеннаго д'Аламберомъ метода, какъ не можетъ ослабить значенія такъ-называемой аналитической геометріи то обстоятельство, что нѣкоторыя проблемы обыкновенной геометріи рѣшаются скорѣе и удобнѣе, чѣмъ аналитической.—Литтровъ.)

5. Движеніе въ Сопротивляющихся Средахъ. Баллистика. — Мы должны кратко изложить здѣсь исторію нѣкоторыхъ отдѣльныхъ проблемъ механики. Хотя Иванъ Бернулли всегда говорилъ съ почтеніемъ о «Principia» Ньютона и объ ихъ авторѣ, тѣмъ

неменѣе онъ былъ очень расположенъ указывать въ нихъ дѣйствительные или воображаемые недостатки. Противъ опредѣленія Ньютономъ пути, проходимаго какимъ-нибудь тѣломъ, брошеннымъ въ какой-нибудь части солнечной системы, онъ приводилъ такія возраженія, что даже трудно понять, какимъ образомъ такой математикъ, какъ онъ, могъ выдумать ихъ и могъ считать ихъ основательными. Гораздо основательнѣе его возраженіе противъ ньютоновскаго опредѣленія движенія тѣлъ въ сопротивляющихся средахъ. Онъ указалъ существенную ошибку въ рѣшеніи Ньютона и послѣдній узналъ объ этомъ въ Лондонѣ въ октябрѣ 1712 г., когда печатаніе 2-го изданія «Principia» подъ надзоромъ Котеса въ Кембриджѣ было уже почти кончено. Ньютонъ тотчасъ же уничтожилъ листъ своего сочиненія, въ которомъ напечатана была эта ошибка, и исправилъ ее *).

Эта проблема движенія тѣлъ въ сопротивляющейся средѣ повела еще къ другому столкновенію между англійскими и нѣмецкими математиками. Въ сочиненіи Ньютона было сдѣлано только непрямое опредѣленіе кривой, описанной брошеннымъ тѣломъ въ воздухѣ, и вѣроятно, что Ньютонъ, когда писалъ свои «Principia», еще не видѣлъ средства для прямаго и полнаго разрѣшенія этой проблемы. Но впослѣдствіи, въ 1718 г., когда завязался горячій споръ между приверженцами Ньютона и Лейбница, Кейль, перешедшій на сторону Ньютона, предложилъ эту проблему иностраннымъ математикамъ въ видѣ вызова. Кейль воображалъ вѣ-

*) M. S. Correspondence in Trin. Coll. Library.



роятно, что чего не открылъ Ньютонъ, того уже не можетъ открыть никто изъ его современниковъ. Но ревностное занятіе математическимъ анализомъ дало нѣмецкимъ математикамъ силу, которая превзошла ожиданія англичанъ, которые, каковы бы ни были ихъ таланты, сдѣлали однако послѣ Ньютона небольшіе успѣхи въ приложеніи всеобщихъ аналитическихъ методовъ, и ихъ удивленіе къ Ньютону долгое время держало ихъ на одномъ мѣстѣ, до котораго достигъ Ньютонъ. Бернулли въ короткое время разрѣшилъ предложенную Кейлемъ проблему и въ свою очередь сдѣлалъ вызовъ Кейлю, чтобы онъ представилъ свое собственное рѣшеніе. Но онъ не въ состояніи былъ этого сдѣлать и, послѣ нѣкоторыхъ попытокъ занять и затянуть дѣло, прибѣгъ наконецъ къ весьма жалкимъ изворотамъ. Тогда Бернулли обнародовалъ свое рѣшеніе и выразилъ справедливое презрѣніе къ своему противнику.—И это прямое опредѣленіе пути брошенныхъ тѣлъ въ сопротивляющейся средѣ можетъ считаться первымъ существеннымъ дополненіемъ къ «Principia», сдѣланнымъ послѣдующими писателями.

6. Созвѣздіе изъ математиковъ. Мы съ удивленіемъ смотримъ на длинный рядъ математиковъ, которые разработывали теоретическую механику отъ временъ Ньютона и до настоящаго времени. Никогда еще не было группы ученыхъ людей, слава которыхъ была бы выше и блистательнѣе. Великія открытія Коперника, Галилея, Ньютона привлекли взоры всѣхъ на тѣ отдѣлы человѣческаго знанія, которымъ посвятили свои труды они и ихъ преемники. Математическая несомнѣнность, какую пріобрѣли знанія этого рода, по-

ставила математиковъ выше другихъ ученыхъ, и прелесть математическихъ открытій и возможность показать на математическомъ анализѣ проницательность и остроуміе доставили имъ безграничное удивленіе. Преемники Ньютона и Бернулли, Эйлеръ, Клеро, д'Аламберъ, Лагранжъ, Лапласъ, не говоря о живыхъ еще ученыхъ, были люди съ замѣчательнѣйшимъ талантомъ, какихъ только видалъ свѣтъ. Конечно ихъ умъ отличенъ былъ отъ ума тѣхъ геніевъ, которые открывали законы природы, и я буду имѣть впослѣдствіи случай говорить объ этомъ; въ настоящее же время я долженъ кратко упомянуть о важнѣйшихъ заслугахъ названныхъ мною людей.

Многіе изъ этихъ лицъ связаны были общественными отношеніями. Эйлеръ былъ ученикомъ перваго поколѣнія братьевъ Бернулли и близкимъ другомъ втораго поколѣнія ихъ. И всѣ эти необыкновенные люди, также какъ и Германъ, происходили изъ Базеля, который произвелъ такъ много славныхъ математиковъ, что съ нимъ не можетъ равняться въ этомъ ни одинъ городъ. Въ 1740 г., Клеро и Мопертюи посѣтили Ивана Бернулли, Нестора тогдашнихъ математиковъ, который кончилъ свою долголѣтнюю и славную жизнь въ 1748 г. Эйлеръ, многіе изъ семейства Бернулли, Мопертюи, Лагранжъ и другіе менѣе знаменитые люди были призваны Екатериной II и Фридрихомъ II въ академіи въ Петербургѣ и Берлинѣ, которыя они устроили для чести науки, талантовъ и ихъ имени. Преміи, предложенныя этими академіями и еще французской академіей наукъ, дали поводъ къ самымъ лучшимъ математическимъ сочиненіямъ того времени.

7. Проблема Трехъ Тѣлъ. Въ 1747 г. Клеро и д'Аламберъ прислали въ одинъ и тотъ же день въ Парижскую Академію свои рѣшенія «знаменитой Проблемы Трехъ Тѣлъ», которая съ этого времени обратила на себя особенное вниманіе математиковъ и была такъ сказать лукомъ, на которомъ каждый изъ нихъ пробовалъ свои силы и старался бросить стрѣлу далѣе, тѣмъ его предшественники.

Эта проблема была въ самомъ дѣлѣ ничто иное, какъ астрономическій вопросъ о дѣйствіи, которое производитъ притяженіе солнца и которое состоитъ въ возмущеніи движенія луны вокругъ земли; но выраженная въ общей формѣ, какъ вопросъ о тѣлѣ, которое вліяетъ на движеніе двухъ другихъ тѣлъ, она сдѣлалась механической проблемой, и исторія ея рѣшенія относится къ занимающему насъ теперь предмету.

Однимъ изъ слѣдствій синтетической формы, принятой Ньютономъ въ «Principia», было то, что его преемники снова обратили вниманіе на проблему движенія небесныхъ тѣлъ. Кто не дѣлалъ этого, тотъ вообще не дѣлалъ никакого прогресса, какъ это было долгое время въ Англіи. Клеро говоритъ, что онъ долгое время и напрасно старался сдѣлать какое-нибудь употребленіе изъ работъ Ньютона; но наконецъ рѣшился обработывать предметъ совершенно самостоятельнымъ образомъ. Онъ и сдѣлалъ это тѣмъ, что вездѣ употреблялъ анализъ и слѣдовалъ методамъ не очень различнымъ отъ тѣхъ, которые употребляются и донынѣ. Мы не будемъ здѣсь говорить о сравненіи его теоріи съ наблюденіемъ и ограничимся только замѣчаніемъ, что какъ согласіе, такъ и несогласіе съ

опытомъ побуждали Клеро и другихъ математиковъ идти все дальше впередъ въ своихъ изслѣдованіяхъ и давать своимъ вычисленіямъ большую и большую степень точности.

Однимъ изъ замѣчательнѣйшихъ случаевъ, сюда относящихся, было движеніе Апогея Луны, или луннаго пути, и въ этомъ случаѣ способъ приближенія къ истинѣ, употребленный Клеро и Эйлеромъ, послѣ многихъ неудачъ привелъ только къ половинѣ истины. Та же самая проблема трехъ тѣлъ подала поводъ къ мемуару Клеро, который получилъ премію отъ Петербургской Академіи въ 1751 г., и потомъ къ его сочиненію «Theorie de la Lune«, напечатанной въ 1765 г. Д'Аламберъ въ тоже время трудился надъ той же проблемой; о значеніи ихъ методовъ и о томъ, кто первый изобрѣтатель ихъ, начался горячій споръ между этими двумя великими математиками. Въ 1753 г. Эйлеръ напечаталъ Теорію Луны, которая вѣроятно была полезнѣе всѣхъ другихъ теорій, такъ какъ она впослѣдствіи послужила основаніемъ для метода Майера и его таблицъ.—Трудно дать обыкновенному читателю понятіе о всѣхъ рѣшеніяхъ указанной проблемы. Мы замѣтимъ только, что величины, которыми опредѣляется положеніе луны на небѣ въ каждое время, были выражены посредствомъ извѣстныхъ алгебраическихъ уравненій, которыя выражали механическія условія движенія. Операція, посредствомъ которой получается результатъ, состоитъ въ процессѣ интегральнаго исчисленія, которое въ этомъ случаѣ не можетъ быть приложено прямо и непосредственно, потому что величины, надъ которыми нужно производить ин-

тегрированіе, относятся къ положенію луны и такимъ образомъ нужно какъ-бы напередъ знать тѣ величины, которыя мы хотимъ опредѣлить посредствомъ всей этой операціи. Поэтому результатъ можетъ быть полученъ только посредствомъ послѣдовательныхъ приближеній. Прежде всего мы должны найти величину близкую къ истинѣ, а затѣмъ посредствомъ ея доходить до другой болѣе близкой и т. д.; и такимъ образомъ истинное положеніе луны можетъ быть выражено членами ряда, которые постепенно все становятся меньше. Форма этихъ членовъ зависитъ отъ взаимныхъ положеній солнца и луны, отъ ихъ Апогеевъ, отъ узловъ луннаго пути и другихъ величинъ; и вслѣдствіе разнообразія существующаго между этими величинами, эти члены бываютъ весьма многочисленны и сложны. Также точно абсолютная величина этихъ членовъ зависитъ отъ различныхъ обстоятельствъ: отъ массы солнца и земли, отъ времени обращенія земли вокругъ солнца и луны вокругъ земли, отъ эксцентрицитетовъ и наклоненій земной и лунной орбитъ. Всѣ эти величины, соединенныя между собой, даютъ то весьма большія, то весьма малыя количества; и зависитъ отъ искусства и терпѣнія математика, какъ далеко онъ продолжитъ этотъ рядъ членовъ и какія величины выберетъ изъ массы остальныхъ. Для этого ряда нѣтъ никакой границы; и хотя методы, о которыхъ мы говорили выше, даютъ возможность найти столько членовъ этого ряда, сколько угодно, но трудность исполненія этихъ операцій такъ велика, что предъ ней отступаютъ обыкновенные математики. Только не многіе изъ отличнѣйшихъ ма-

тематиковъ были въ состояніи съ увѣренностью пройти значительное пространство въ этомъ лѣсу формулъ, который становится тѣмъ темнѣе и запутаннѣе, чѣмъ дальше въ немъ подвигаются. Даже то, что до сихъ поръ было сдѣлано относительно этого, зависитъ отъ того, что мы можемъ назвать случайными обстоятельствами,—отъ малаго наклоненія, отъ малыхъ эксцентрицитетовъ путей, отъ большихъ разстояній, которыми небесныя тѣла отдѣлены другъ отъ друга, и наконецъ отъ малыхъ массъ ихъ сравнительно съ массой солнца. «Еслибы природа,» говоритъ Лагранжъ, «не особенно благопріятствовала намъ особеннымъ устройствомъ нашей планетной системы, то всѣ вычисленія небесныхъ движеній были бы для насъ невозможны.»

Ожидаемое возвращеніе кометы 1682 г. въ 1759 г. дало новый интересъ Проблемѣ Трехъ Тѣлъ, и Клеро пытался, при помощи этой проблемы, опредѣлить время возвращенія этой кометы. Онъ употребилъ для этого тотъ же самый методъ, который онъ съ пользой примѣнилъ къ опредѣленію движенія луны; но въ этомъ случаѣ этотъ методъ не давалъ никакой надежды на успѣхъ, потому что здѣсь не доставало вышеупомянутыхъ благопріятныхъ обстоятельствъ. Поэтому Клеро, составивъ 6 уравненій, отъ которыхъ зависѣло рѣшеніе его проблемы, прибавилъ къ нимъ слѣдующія слова: «интегрируй теперь кто можетъ» *). Такимъ образомъ для этого случая нужно было придумать новые методы приближенія.

---

*) Journal des Sçavans, Aug 1759.



Эта Проблема Трехъ Тѣлъ разрѣшалась съ такимъ усердіемъ не вслѣдствіе ея аналитической прелести или внутренней привлекательности, а потому что къ этому вынуждала математиковъ крайняя необходимость, такъ какъ никакимъ другимъ путемъ не могла быть доказана и примѣнена съ пользой теорія всеобщаго тяготѣнія. Но при этомъ еще кромѣ достиженія славы разрѣшеніемъ такой трудной проблемы, ученые имѣли въ виду составленіе Таблицъ Луны, имѣвшихъ большое значеніе для мореплаванія.

Примѣненіе Проблемы Трехъ Тѣлъ къ Теоріи Планетъ представляло еще особенныя трудности. Требовались еще особые математическіе пріемы, чтобы побѣдить эти трудности.

Эйлеръ особенно занимался движеніями Юпитера и Сатурна, въ которыхъ замѣчалось ускореніе и замедленіе, давно указанное опытомъ, но не легко объяснимое въ теоріи. Мемуары Эйлера, получившіе премію отъ Французской Академіи въ 1748 и 1752 гг., заключали въ себѣ прекрасный анализъ; но затѣмъ явилась теорія Юпитера и Сатурна Лагранжа, въ которой представлялись результаты, отличные отъ результатовъ Эйлера. Наконецъ Лапласъ въ 1787 г. показалъ, что указанное неравенство или колебаніе въ движеніи названныхъ планетъ происходитъ отъ того обстоятельства, что два года Сатурна, или два оборота его вокругъ солнца, почти равны пяти годамъ Юпитера.

Но приложеніе Проблемы Трехъ Тѣлъ къ спутникамъ Юпитера было гораздо труднѣе и сложнѣе, чѣмъ приложеніе ея къ планетамъ. Потому что здѣсь не-

обходимо было найти возмущенія каждаго изъ этихъ четырехъ спутниковъ, которыя онъ получаетъ отъ трехъ остальныхъ; такъ что здѣсь являлась проблема собственно уже пяти тѣлъ. Эта проблема была разрѣшена Лагранжемъ *).

Въ новѣйшее время открыты были малыя планеты: Юнона, Церера, Веста и Паллада, орбиты которыхъ почти совпадали между собой и имѣли гораздо большее наклоненіе и гораздо большій эксцентрицитетъ, чѣмъ старыя планеты. Поэтому ихъ возмущенія давали новую форму проблемѣ и требовали новыхъ математическихъ пріемовъ.

Своими изслѣдованіями относительно Юпитера, Лагранжъ и Лапласъ были наведены на мысль изучить подробнѣе «вѣковыя Неравенства» солнечной системы, т. е. тѣ измѣненія, продолжительность или циклъ которыхъ обнимаетъ собой нѣсколько годовъ той планеты, въ которой замѣчаются эти измѣненія. Эйлеръ въ 1749 и 1755 и Лагранжъ **) въ 1766 г. изобрѣли методъ «Варіаціи Элементовъ» орбиты, который состоитъ въ томъ, чтобы представлять дѣйствіе возмущающихъ силъ не такъ, какъ будтобы онѣ прямо измѣняютъ положеніе планеты, а такъ какъ будто онѣ производятъ измѣненіе отъ одного момента до другаго въ размѣрахъ и положеніи Эллиптической орбиты, которую описываетъ планета †). Посред-

*) Bailly, *Astr. Mod.* III, 178.

**) Gautier, *Prob. de trois Corps.* p. 155.

†) Въ первомъ изданіи этой исторіи я приписалъ Лагранжу изобрѣтеніе Метода Варіацій элементовъ въ теоріи

ствомъ этого метода онъ опредѣляетъ вѣковыя измѣненія каждаго элемента, опредѣляя величины орбиты. Въ 1773 г. Лапласъ также занимался изслѣдованіями объ этихъ вѣковыхъ неравенствахъ или перемѣнахъ и получилъ выраженія для нихъ. При этомъ случаѣ онъ доказалъ свое знаменитое положеніе, что среднія движенія планетъ, а также большія оси ихъ путей, остаются неизмѣнными, т. е. что въ возмущеніяхъ, замѣчаемыхъ въ солнечной системѣ, нѣтъ такого прогрессивнаго измѣненія, которое бы когда-нибудь не остановилось окончательно и не пошло въ другую

Возмущеній. Но справедливость требуетъ приписать это изобрѣтеніе Эйлеру и даже Ньютону, способъ котораго представлять пути небесныхъ тѣлъ посредствомъ Вращающейся Орбиты, въ IX отдѣлѣ его «Principia» можетъ считаться какъ бы предсказаніемъ метода варіаціи элементовъ. Въ V томѣ «Mechanique Céleste», кн. XV, стр. 305, находится извлеченіе изъ Эйлерова «Мемуара» 1749 г. и слѣдующее замѣчаніе Лапласа: это первый опытъ варіаціи постоянныхъ произвольныхъ величинъ. На стр. 310 находится извлеченіе изъ мемуара 1756 г., и Лапласъ, говоря о методѣ, объясняетъ, что онъ состоитъ въ томъ, чтобы представлять себѣ элементы эллиптическаго движенія измѣняющимися вслѣдствіе возмущающихся силъ. Эти элементы суть слѣдующіе: 1) Большая Ось; 2) Эпоха апсиды для тѣла; 3) Эксцентрицитетъ; 4) Движеніе апсиды; 5) Наклоненіе; 6) Долгота узла. И затѣмъ Лагранжъ показываетъ, какъ Эйлеръ производитъ варіаціи. Можетъ быть, что Лагранжъ вовсе не зналъ «Мемуара» Эйлера. (См. Mec. cel. vol. V, p. 312). Но во всякомъ случаѣ Эйлеръ такъ ясно понималъ методъ и такъ совершенно владѣлъ имъ, что его нужно считать изобрѣтателемъ этого метода.



сторону, нѣтъ такого увеличенія, которое послѣ нѣкотораго періода не превратилось бы въ уменьшеніе, нѣтъ такого замедленія, которое бы наконецъ не смѣнилось ускореніемъ; хотя въ нѣкоторыхъ случаяхъ пройдутъ можетъ быть цѣлые милліоны лѣтъ прежде, чѣмъ солнечная система достигнетъ поворотной точки какого-нибудь измѣненія. Томасъ Симпсонъ вывелъ точно такое же послѣдствіе изъ законовъ всеобщаго притяженія. Въ 1774 и 1776 г. Лагранжъ *) все еще занимался опредѣленіемъ вѣковыхъ неравенствъ или возмущеній и распространилъ свои изслѣдованія на узлы и наклоненія планетныхъ путей. При этомъ онъ показалъ, что неизмѣнность средняго движенія планетъ, доказанная Лапласомъ, съ устраненіемъ 4 степени эксцентрицитетовъ **), и наклоненій орбиты, дѣйствительно вѣрна, какъ бы далеко ни доводили приближенія, если только оставить безъ вниманія квадраты возмущающихъ массъ. Впослѣдствіи онъ улучшилъ свой методъ †) и въ 1783 г. старался распространить свое вычисленіе измѣненія элементовъ какъ на періодическія возмущенія, такъ и на вѣковыя.

8. Небесная механика и пр. Лапласъ такимъ образомъ завершилъ свои изслѣдованія о вѣковыхъ неравенствахъ или измѣненіяхъ и наконецъ задумалъ написать обширное сочиненіе «Mecanique Céleste», которое, по мысли автора, должно было заключать въ себѣ полный обзоръ настоящаго положенія этой блестящей отрасли человѣческаго знанія. По той экзаль-

*) Gautier, *Prob. de trois Corps.* p. 104.
**) Ibid., p. 184. †) Ibid., p. 196.



таціи, которую очевидно обнаруживаетъ авторъ при мысли, что онъ воздвигаетъ этотъ памятникъ своему времени, мы можемъ судить о томъ энтузіазмѣ, какой былъ возбужденъ величественнымъ рядомъ математическихъ открытій, очеркъ которыхъ я представилъ. Два первые тома этого великаго сочиненія явились въ 1799 г.; третій томъ явился въ 1802 г., а четвертый въ 1805 г. Послѣ появленія этого сочиненія не многое было прибавлено къ разрѣшенію великихъ проблемъ, которыми оно занимается. Въ 1808 г. Лапласъ представилъ французскому Bureau des Longitudes дополненіе къ Небесной Механикѣ, цѣлью котораго было дальнѣйшее развитіе способа опредѣленія вѣковыхъ возмущеній. Пуассонъ и Лагранжъ доказали потомъ неизмѣнность большихъ осей орбитъ даже относительно втораго порядка возмущающихъ причинъ. Другіе ученые занимались другими сторонами этого предмета. Буркгартъ въ 1808 г. довелъ рядъ возмущающихъ функцій до 6 порядка эксцентрицитетовъ. Гауссъ, Ганзенъ, Бессель, Ивори, Люббокъ, Плана, Пойтекула и Айри въ различныя времена или расширили и объяснили нѣкоторыя отдѣльныя части теоріи, или примѣнили ее къ частнымъ случаямъ; такъ напр. Айри, посредствомъ вычисленій нашелъ неравенства въ Венерѣ и Землѣ, періодъ которыхъ составляетъ 240 лѣтъ. Приближеніе движеній луны было доведено Дамуазо до невѣроятной степени. Наконецъ Плана въ особомъ сочиненіи, въ трехъ большихъ томахъ, собралъ все, что до сихъ поръ сдѣлано было для Теоріи Луны.

Я представилъ здѣсь только выдающіяся точки про-

гресса Аналитической Динамики. Такимъ образомъ я не говорилъ подробно о теоріи Спутниковъ Юпитера, за которую Лагранжъ получилъ премію въ 1766 г., и не говорилъ о тѣхъ любопытныхъ открытіяхъ, которыя онъ сдѣлалъ въ 1784 г. въ системѣ этихъ спутниковъ. Еще менѣе могъ я говорить о чисто-отвлеченномъ вопросѣ о Тавтохроническихъ Кривыхъ въ сопротивляющихся средахъ, хотя этому предмету посвящали свои труды Бернулли, Эйлеръ, Фонтень, д'Аламберъ, Лагранжъ и Лапласъ. Читатель можетъ легко догадаться, что мы прошли совершеннымъ молчаніемъ еще множество другихъ любопытнѣйшихъ изслѣдованій.

(2-е изд.) [Хотя аналитическія вычисленія великихъ математиковъ прошлаго столѣтія опредѣлили демонстративно обширный рядъ неравенствъ или возмущеній, которыя происходятъ въ движеніяхъ солнца, луны и планетъ, вслѣдствіе ихъ взаимныхъ притяженій, однако все-еще остались нѣкоторые неразъясненные пункты въ представленныхъ ими рѣшеніяхъ великой механической проблемы въ Системѣ Вселенной. Одинъ изъ этихъ пунктовъ есть тотъ, что неуказано еще никакого очевиднаго механическаго основанія или значенія въ преемственныхъ членахъ этихъ рядовъ неравенствъ. Линденау разсказываетъ, что Лагранжъ въ послѣдніе годы своей жизни выражалъ сожалѣніе о томъ, что методы приближенія, употребляющіеся въ Физической Астрономіи, основываются на произвольныхъ пріемахъ, а не на знаніи результатовъ механическаго дѣйствія. Но впослѣдствіи сдѣлано было нѣчто, что до нѣкоторой степени устрани-

ло основанія этого сожалѣнія. Въ 1818 г. Гауссъ показалъ, что вѣковыя колебанія или неравенства можно представлять себѣ какъ результатъ возмущающаго тѣла, распространяющійся по его орбитѣ въ формѣ кольца; и это указаніе дѣлаетъ этотъ результатъ болѣе нагляднымъ, чѣмъ одно вычисленіе. Мнѣ кажется также, что трактатъ Айри, подъ заглавіемъ «Тяготѣніе», напечатанный въ Кембриджѣ въ 1834 г., имѣетъ большое значеніе въ разъясненіи подобнаго способа воззрѣнія на механическую причину многихъ главныхъ неравенствъ въ солнечной системѣ.

Бессель въ 1824 и Ганзенъ въ 1828 г. напечатали сочиненія, которыя вмѣстѣ съ сочиненіями Гаусса, представляютъ собой начало новой эры въ физической астрономіи *). «Theoria motuum corporum coelestium» Гаусса, получившая лаландовскую медаль, присужденную ей Французскимъ Институтомъ, разрѣшила уже (1810) всѣ проблемы, относительно опредѣленія положенія планетъ и кометъ на ихъ орбитахъ посредствомъ функцій ихъ элементовъ. Важность трудовъ Ганзена относительно Возмущеній Планетъ была признана Астрономическимъ Обществомъ въ Лондонѣ, которое присудило ему свою золотую медаль.

Изслѣдованія Дамуазо, Плана и Карлини о Проблемѣ Теоріи Луны повлекли за собой такой же рядъ работъ, какъ и изслѣдованія ихъ предшественниковъ. Въ этихъ работахъ также, какъ и въ Небесной Механикѣ и другихъ прежнихъ сочиненіяхъ объ этомъ

*) Abhand. der Akad. d. Wissensch. zu Berlin. 1824; и Disquisitiones circa Theoriam Perturbationum. См. Jahn *Gesc. der Astron.* p. 84.



предметѣ, координаты луны (время, радіусъ векторъ и широта) выражаются функціями отъ ея истинной долготы. Интегрированіе производилось по частямъ и затѣмъ посредствомъ соединенія частей долгота выражалась функціей времени; и такія же точно дѣйствія производились и надъ другими двумя координатами. Но сэръ Джонъ Люббокъ и Понтекула за независимую перемѣнную брали среднюю долготу луны; т. е. время, и выразили координаты луны посредствомъ синусовъ и косинусовъ угловъ, увеличивающихся пропорціонально времени. Этотъ же методъ былъ принятъ и Пуассономъ (Memoires Inst. XIII, 1835, p. 212). Дамуазо, подобно Лапласу и Клеро, выводилъ послѣдовательные коэффиціенты лунныхъ неравенствъ посредствомъ численныхъ уравненій. Но Плана выражаетъ каждый коэффиціентъ общимъ терминомъ посредствомъ буквъ, выражающихъ постоянные элементы или константы проблемы, располагая ихъ сообразно съ порядкомъ количествъ и только уже въ концѣ операціи замѣняя ихъ числами. Посредствомъ этого пріема Люббокъ и Понтекула повѣрили или исправили много пунктовъ въ изслѣдованіяхъ Дамуазо и Плана. Сэръ Джонъ Люббокъ прямо вычислилъ полярныя координаты луны, а Пуассонъ съ другой стороны опредѣлилъ измѣняющіеся эллиптическіе элементы ея. Понтекула утверждаетъ, что методъ варіаціи произвольныхъ константъ можетъ быть примѣненъ къ вѣковымъ неравенствамъ и неравенствамъ еще болѣе продолжительныхъ періодовъ.

Люббокъ и Понтекула приняли одну и ту же систему при развитіи Теоріи Луны и при развитіи Тео-

ріи Планетъ, вмѣсто того, чтобы слѣдовать двумя различными путями въ вычисленіи при рѣшеніи этихъ двухъ проблемъ, какъ это дѣлалось до сихъ поръ.

Также точно Ганзенъ въ «своихъ Fundamenta nova Investigationis Orbitae verae, quam Luna perlustrat» (Gotae, 1838) представляетъ общій методъ, заключающій въ себѣ лунную и планетную теоріи, какъ два отдѣльные случая; къ нему же присоединено и разрѣшеніе «Проблемы Четырехъ Тѣлъ».

Я говорилъ здѣсь о Лунной и Планетной Теоріяхъ только какъ о Механическихъ Проблемахъ. По связи съ этимъ предметомъ, я не могу здѣсь не упомянуть о весьма общемъ и прекрасномъ методѣ разрѣшенія проблемъ касательно движенія системъ, состоящихъ изъ взаимно притягивающихся тѣлъ, изложенномъ В. Гамильтономъ въ статьѣ «On a General Method in Dynamics», помѣщенной въ Philosophical Transactions 1834—1835 гг. Его методъ состоитъ въ отысканіи Главной Функціи координатъ тѣлъ; посредствомъ дифференцированія этой функціи могутъ быть найдены координаты всѣхъ тѣлъ системы. Кромѣ того, когда получена приблизительная величина этой функціи, то одна и та же формула можетъ служить для послѣдовательнаго приближенія безгранично].

9. Предвареніе Равноденствій. — Движеніе Твердыхъ Тѣлъ. Изслѣдованія, о которыхъ я говорилъ, какъ они ни были обширны и многосложны, разсматривали движущіяся тѣла только какъ точки и не принимали въ разсчетъ никакихъ особенностей ихъ формы, ни движенія ихъ частей. Изслѣдованіе о движеніи тѣлъ различныхъ величинъ и формъ составля-

етъ другую отрасль аналитической механики, которая заслуживаетъ вниманія. И эта отрасль, подобно остальнымъ отдѣламъ механики, обязана своимъ развитіемъ ревностной разработкѣ проблемъ, представляемыхъ солнечной системой. Ньютонъ, какъ мы видѣли, старался вычислить дѣйствія притяженія солнца и луны, которыя по его мнѣнію производятъ предвареніе равноденствій; но въ этихъ вычисленіяхъ онъ сдѣлалъ нѣкоторыя ошибки. Въ 1747 г. д'Аламберъ разрѣшилъ эту проблему посредствомъ своего принципа, и ему потомъ не трудно было показать,—что́ онъ и сдѣлалъ въ своихъ «Opuscules» въ 1761 г.—что́ тотъ же самый принципъ и методъ даютъ ему возможность опредѣлить движеніе тѣлъ, имѣющихъ различныя фигуры и находящихся подъ вліяніемъ какихъ бы то ни было силъ. Но, какъ уже вѣроятно замѣтилъ читатель въ ходѣ нашего разсказа, великіе математики этого періода часто встрѣчались между собой на пути къ одному и тому же открытію. — Эйлеръ *) въ тоже самое время обнародовалъ въ 1751 г. разрѣшеніе проблемы предваренія равноденствій и въ 1752 г. напечаталъ мемуаръ, подъ заглавіемъ «Открытіе Новаго Принципа Механики», въ которомъ заключалось рѣшеніе общей проблемы возмущенія вращательнаго движенія тѣлъ, вслѣдствіе вліянія внѣшнихъ силъ. Д'Аламберъ съ неудовольствіемъ посмотрѣлъ на это присвоеніе открытія принципа, заявленное заглавіемъ этого мемуара,—принципа, открытаго собственно имъ самимъ, хотя и призналъ заслуги этого мемуара. Вскорѣ потомъ были сдѣланы

*) Act. Berl. 1745, 1750.

улучшенія въ этихъ рѣшеніяхъ, но окончательная форма дана была имъ Эйлеромъ, который приложилъ новый принципъ къ рѣшенію множества проблемъ въ своей «Theoria motus corporum solidorum», которая была написана *) около 1760 г. и напечатана въ 1765 г. Формулы въ этомъ сочиненіи были упрощены примѣненіемъ открытія Зегнера, что каждое тѣло имѣетъ три оси, которыя называются Главными Осями и около которыхъ оно вообще можетъ вращаться. Уравненія, которыя получили Эйлеръ и другіе ученые, были опровергаемы Ланденомъ въ «Philosophical Transactions» 1785 г. Но я думаю, что на эти опроверженія нельзя иначе смотрѣть какъ на примѣръ неспособности англійскихъ математиковъ этого періода усвоить аналитическія обобщенія, до которыхъ дошли великіе континентальные математики. Едвали не самое замѣчательное вычисленіе движенія твердыхъ тѣлъ сдѣлано Лагранжемъ въ его изслѣдованіи о Колебаніи Луны, гдѣ онъ показалъ, что Узлы Луннаго Экватора должны всегда совпадать съ узлами лунной Орбиты.

10. Дрожащія Струны. Другіе механическіе вопросы и неимѣющіе связи съ астрономіей также были разрѣшаемы съ великимъ усердіемъ и такимъ же успѣхомъ. Между этими вопросами особенно замѣчательна проблема относительно сотрясенія струнъ, укрѣпленныхъ на обоихъ концахъ. Въ этомъ случаѣ не нужны особенно сложныя механическія соображенія; но очень трудно переводить ихъ на языкъ математическаго анализа. Тайлоръ въ своемъ «Methodus incre-

*) См. предисловіе къ этому сочиненію.

mentorum» 1716 г. приложилъ въ концѣ разрѣшеніе этой проблемы, полученное на основаніи подобныхъ предположеній,—но весьма удобное для приложенія къ обыкновеннымъ условіямъ, представляющимся въ опытѣ. Иванъ Бернулли въ 1728 г. занимался той же проблемой: но она получила совершенно новый интересъ только послѣ того, когда въ 1747 г. д'Аламберъ [7]) обнародовалъ свои воззрѣнія на этотъ предметъ. Онъ утверждалъ, что существуетъ не одна только кривая, а безчисленное множество различныхъ кривыхъ, которыя удовлетворяютъ условіямъ задачи. Проблема, такимъ образомъ двинутая впередъ великимъ математикомъ, была, какъ обыкновенно бываетъ, развиваема дальше другими писателями, имена которыхъ читатель уже привыкъ встрѣчать наряду съ именемъ этого математика. Въ 1748 г. Эйлеръ нетолько согласился съ этимъ обобщеніемъ д'Аламбера, но и утверждалъ еще, что эти кривыя совершенно произвольны и что нѣтъ надобности опредѣлять ихъ какими-нибудь алгебраическими условіями. Д'Аламберъ не соглашался на эту крайнюю неопредѣлительность; между тѣмъ какъ Даніилъ Бернулли, полагаясь болѣе на физическое, чѣмъ на математическое основаніе, утверждалъ, что оба эти обобщенія не приложимы на дѣлѣ и что рѣшеніе этихъ проблемъ ограничивается только, какъ и предполагали въ первое время, примѣненіемъ ихъ къ формѣ трохоида и другимъ формамъ, происходящимъ отъ ней. Онъ ввелъ въ эти проблемы «Законъ Коэкзистирующихъ, или Сосуществующихъ Дрожаній», который впослѣдствіи оказался столь полезнымъ тѣмъ, что давалъ возможность ясно

представлять результатъ сложныхъ механическихъ условій, происходящихъ въ одно время, и понимать истинное значеніе многихъ аналитическихъ выраженій, относящихся къ этому предмету. Въ то же время и Лагранжъ обратилъ свой удивительный геній на эту проблему. Онъ вмѣстѣ съ своими друзьями Салюсомъ и Чинья основалъ академію въ Туринѣ, и первый мемуаръ его въ изданіяхъ академіи былъ посвященъ этому предмету. Въ этомъ мемуарѣ и въ послѣдующихъ сочиненіяхъ онъ показалъ къ удовольствію всего математическаго міра, что функціи, введенныя при этихъ изслѣдованіяхъ посредствомъ интеграцій, вовсе не подчинены закону непрерывности, но совершенно произвольны, хотя и могутъ быть выражены рядомъ круговыхъ функцій. Споры, которые возникли относительно законосообразности или произвольности условій разрѣшенія проблемы, имѣли значеніе нетолько для ученія о дрожащихъ струнахъ, но и для другихъ проблемъ другой отрасли Механики, о которой мы уже говорили, т. е. Ученія о Жидкостяхъ.

11. **Равновѣсіе Жидкостей. — Фигура Земли. — Приливы и Отливы.** Примѣненіе общихъ принциповъ Механики къ жидкостямъ было естественнымъ и неизбѣжнымъ шагомъ, послѣ того какъ эти принципы были обобщены. Легко было видѣть, что въ механическомъ отношеніи жидкость есть не что иное, какъ тѣло, частички котораго могутъ двигаться между собой весьма легко, и что математикъ долженъ выразить всѣ слѣдствія этой подвижности въ своихъ формулахъ. Это и было сдѣлано основателями меха-

ники, какъ для случаевъ равновѣсія жидкостей, такъ и для случаевъ движенія. Попытка Ньютона разрѣшить проблему о Фигурѣ Земли, предполагая землю жидкимъ тѣломъ, представляетъ первый примѣръ такого рода изслѣдованій, и его рѣшеніе, основанное на принципахъ, которые мы уже изъяснили, сдѣлано съ искусствомъ и остроуміемъ, которое отличаетъ все, что дѣлалъ Ньютонъ.

Мы уже видѣли, какъ установлена была общность того принципа, что жидкости давятъ равномѣрно во всѣхъ направленіяхъ. Прилагая этотъ принципъ къ вычисленіямъ, Ньютонъ принялъ за основаніе, что столбы жидкости, достигающіе до центра, всѣ равны по вѣсу. Гюйгенсъ же принялъ за основаніе, что направленіе результирующихъ силъ въ каждой точкѣ поверхности жидкости перпендикулярно къ этой поверхности. Буге признавалъ, что оба эти принципа необходимы для равновѣсія жидкости, а Клеро показалъ наконецъ, что для этого необходимо равновѣсіе всѣхъ столбовъ жидкости. Такимъ образомъ онъ былъ первый математикъ, который изъ этого принципа вывелъ извѣстные Парціальные Дифференціалы, которыми выражаются эти законы; это былъ шагъ, который, какъ говоритъ Лагранжъ *), измѣнилъ видъ Гидростатики и сдѣлалъ ее новой наукой. Наконецъ Эйлеръ упростилъ способъ полученія этихъ Уравненій Равновѣсія жидкостей, при всевозможныхъ дѣйствующихъ силахъ, и далъ ему ту форму, которая обыкновенно принята и въ настоящее время.

---

*) Mec. Analyt. II, p. 180.



Объясненіе Приливовъ и Отливовъ тѣмъ способомъ, какой употребилъ Ньютонъ въ III книгѣ «Principia», представляетъ другой примѣръ гидростатическихъ изслѣдованій; потому что онъ при этомъ имѣлъ въ виду ту форму, какую имѣлъ бы океанъ, еслибы онъ былъ въ покоѣ, въ равновѣсіи. Мемуары Маклорена, Даніила Бернулли и Эйлера о Приливахъ и Отливахъ, между которыми всѣми раздѣлена была премія Парижской Академіи Наукъ въ 1740 г., исходили изъ такихъ же воззрѣній.

Трактатъ Клеро о Фигурѣ Земли, появившійся въ 1743 г., дополнилъ Ньютоновское рѣшеніе этой проблемы тѣмъ, что онъ предполагалъ землю твердымъ ядромъ, которое покрыто жидкостью различной плотности. Съ тѣхъ поръ не было сдѣлано ничего новаго по этому предмету, исключая метода, употребленнаго Лапласомъ для опредѣленія притяженій сфероидовъ съ малымъ эксцентрицитетомъ. Этотъ методъ, говоритъ Айри *), есть вычисленіе самое удивительное по своей сущности и самое могущественное по своимъ дѣйствіямъ, какое только когда-либо было извѣстно.

12. Капиллярное Дѣйствіе. Есть еще одна проблема изъ статики жидкостей, о которой необходимо здѣсь упомянуть. Это ученіе о Капиллярномъ Притяженіи. Даніилъ Бернулли **), въ 1738 г., говорилъ, что онъ не останавливается на капиллярныхъ явленіяхъ, потому что не можетъ подвести ихъ подъ общіе законы. Но Клеро имѣлъ больше успѣха; а

---

*) Enc. Metr. Fig. of Earth, p. 192.

**) Hydrodin. Pref. p. 5.



Лапласъ и Пуассонъ послѣ того дали его капиллярной теоріи большую аналитическую полноту. Въ настоящемъ мѣстѣ мы разсматриваемъ эту теорію не въ томъ отношеніи, достаточна ли она для объясненія явленій, а разбираемъ ее только какъ механическую проблему, которая имѣетъ весьма замѣчательный и важный характеръ; именно она должна опредѣлить дѣйствіе притяженія, которое производятъ всѣ части жидкаго тѣла другъ на друга и на заключающія его трубки, предполагая, что притяженіе каждой частички жидкости, весьма замѣтное, когда она дѣйствуетъ на частичку трубки на чрезвычайно маломъ разстояніи отъ нея, становится незамѣтнымъ и совершенно исчезаетъ, какъ только разстояніе становится нѣсколько больше. Легко догадаться, что анализъ, посредствомъ котораго можетъ быть полученъ результатъ при такихъ общихъ и странныхъ условіяхъ, долженъ быть очень любопытнымъ и отвлеченнымъ; и проблема эта уже рѣшена во многихъ весьма обширныхъ случаяхъ.

13. **Движеніе Жидкостей или Гидродинамика.** Единственная отрасль математической механики, которую намъ остается разсмотрѣть, есть Гидродинамика, которая разработана слишкомъ не полно. Легко видѣть, что одна гипотеза объ абсолютной подвижности частичекъ жидкости, въ связи съ извѣстными уже законами движенія и безъ всякихъ другихъ добавленій, представляетъ собой слишкомъ обширное и общее условіе, которое не можетъ повести къ опредѣленному заключенію о движеніи жидкости. Поэтому, чтобы разрѣшить относящіяся сюда проблемы, нужно

было прибѣгать ко многимъ другимъ гипотезамъ, которыя или оказывались ложными или же всегда были въ нѣкоторой мѣрѣ произвольны. Скорость вытеканія жидкости изъ отверстія въ сосудѣ и Сопротивленіе, которое испытываетъ твердое тѣло, когда плаваетъ въ жидкости,—вотъ двѣ проблемы, на которыхъ только и пробовали свои силы математики. Мы уже говорили о способѣ, какъ Ньютонъ рѣшалъ обѣ эти проблемы и какъ старался связать ихъ. Этотъ предметъ сталъ отраслью аналитической механики вслѣдствіе работъ Д. Бернулли, котораго «Гидродинамика» явилась въ 1738 г. Это сочиненіе основано на принципѣ Гюйгенса, о которомъ мы уже говорили въ исторіи центра качанія, именно на равенствѣ Актуальнаго или дѣйствительнаго паденія частичекъ жидкости и Потенціальнаго или возможнаго поднятія ихъ, или другими словами на принципѣ Сохраненія Живой Силы. Это сочиненіе было первымъ аналитическимъ трактатомъ, и анализъ въ немъ, какъ говоритъ Лагранжъ, столь же прекрасенъ въ своемъ развитіи какъ простъ въ своихъ результатахъ. Маклоренъ тоже занимался этимъ предметомъ; но его упрекаютъ за то, что его умозаключенія имѣютъ такой видъ, какъ будто онъ уже послѣ придумалъ ихъ для подтвержденія прежде и произвольно опредѣленнаго результата. Методъ Ивана Бернулли, который также писалъ объ этомъ предметѣ, былъ сильно порицаемъ д'Аламберомъ. Самъ д'Аламберъ прилагалъ принципъ, носящій его имя, къ этому предмету и издалъ поэтому трактатъ «О Равновѣсіи и Движеніи Жидкости», въ 1744 г., и о «Сопротивленіи Жидкости» въ 1753 г.

Его «Réflexions sur la cause générale des vents», напечатанные въ 1747 г., были знаменитымъ сочиненіемъ по этой части математики. Эйлеръ и въ этомъ случаѣ, какъ и во многихъ другихъ, далъ предмету аналитическую ясность и изящество. Кромѣ того онъ и Лагранжъ занимались проблемой малыхъ дрожаній жидкостей какъ эластическихъ, такъ и не эластическихъ,—предметъ которой, подобно вопросу о дрожащихъ струнахъ, повелъ ко многимъ утонченнымъ и неяснымъ разсужденіямъ о значеніи интеграловъ, получаемыхъ изъ такъ-называемыхъ парціальныхъ дифференціальныхъ уравненій. Лапласъ занимался теоріей волнъ, распространяющихся по поверхности воды, и развилъ свою знаменитую теорію приливовъ и отливовъ, въ которой онъ предполагалъ, что океанъ не находится въ равновѣсіи, какъ думали прежде ученые, но постоянно претерпѣваетъ рядъ особыхъ волнообразныхъ движеній, производимыхъ солнечными и лунными притяженіями. О трудности такихъ изслѣдованій можно судить по тому, что Лапласъ принужденъ былъ въ основаніе ихъ принять механическое положеніе недоказанное и только считавшееся вѣроятнымъ; именно *), что, въ системѣ тѣлъ, на которую силы дѣйствуютъ періодически, и смѣняющіяся положенія должны быть также періодическими подобно силамъ». Но даже и при этомъ предположеніи онъ долженъ былъ допустить нѣсколько произвольныхъ пріемовъ; и все-таки остается еще весьма сомнительнымъ, представляетъ ли теорія Лапласа лучшее механическое раз-

*) Mec. Cel., t. II, p. 218.

рѣшеніе проблемы и болѣе точное приближеніе къ истиннымъ законамъ явленія, чѣмъ теорія Бернулли, основанная на воззрѣніяхъ Ньютона.

Въ весьма многихъ случаяхъ рѣшенія проблемъ гидродинамики неудовлетворительно подтверждаются опытомъ. Пуассонъ и Коши тоже развивали теорію волнъ и пришли къ весьма любопытнымъ заключеніямъ посредствомъ искуснаго и глубокаго анализа. Предположенія математиковъ не соотвѣтствуютъ условіямъ природы; поэтому правила теоріи не имѣютъ достаточнаго основанія, которымъ можно было бы объяснить уклоненія въ частныхъ случаяхъ, и законы, получаемые опытнымъ путемъ, весьма неудовлетворительно объясняются вычисленіями сдѣланными à priori. Въ этомъ отношеніи положеніе Гидродинамики очень странно: мы достигли въ механикѣ высшей точки науки, открыли крайне простые и общіе законы, которыми должны объясняться явленія; не можетъ быть сомнѣнія, что эти полученные нами послѣдніе принципы вѣрны и должны на дѣлѣ соотвѣтствовать фактамъ. И однакоже мы никакъ не можемъ примѣнить ихъ въ гидродинамикѣ къ объясненію фактовъ опыта. И это происходитъ оттого, что кромѣ полученныхъ нами общихъ принциповъ у насъ нѣтъ еще промежуточныхъ звеньевъ между самымъ высшимъ и самымъ частнымъ принципомъ, между крайней и почти безплодной общностью законовъ движенія и безконечнымъ разнообразіемъ и нераспутанной сложностью частныхъ случаевъ движенія жидкостей. Причина такого исключительнаго положенія Гидродинамики заключается въ томъ, что ея общіе принципы открыты не на ея соб-

ственной области, а перенесены въ нее изъ родственной ей науки, Механики Твердыхъ Тѣлъ, открыты не посредствомъ постепеннаго восхожденія отъ частныхъ случаевъ къ болѣе и болѣе общимъ отвлеченіямъ, а получены вдругъ, однимъ разомъ, посредствомъ одного предположенія, что движенія частей жидкости совершаются по тѣмъ же общимъ законамъ, которые найдены для движенія твердыхъ тѣлъ. Такимъ образомъ Механика Твердыхъ Тѣлъ и Механика Жидкостей походятъ на два зданія, которыя имѣютъ одну общую вершину, и хотя первое зданіе изучено нами во всѣхъ частяхъ, но во второмъ зданіи мы не нашли даже лѣстницы, по которой можно было бы спуститься сверху или подняться снизу. Еслибы мы жили въ мірѣ, въ которомъ вовсе не было бы твердыхъ тѣлъ, то мы вѣроятно еще не открыли бы общихъ законовъ движенія; а еслибы мы жили въ мірѣ, въ которомъ вовсе не было бы жидкихъ тѣлъ, то мы и не знали бы, какъ недостаточны наши общіе законы движенія для того, чтобы дать намъ вѣрное понятіе о множествѣ частныхъ результатовъ.

14. Другіе Общіе Принципы Механики. Общіе законы движенія, до открытія которыхъ я довелъ свою исторію, заключаютъ въ себѣ всѣ другіе законы, которыми опредѣляются движенія тѣлъ. Между этими послѣдними законами есть много такихъ, которые были открыты еще прежде, чѣмъ была достигнута высшая точка обобщенія, и которые такимъ образомъ служили промежуточными ступенями, приведшими къ самымъ общимъ принципамъ. Таковы были напр. Принципы Сохраненія Живой Силы, Принципъ Сохраненія

Движенія Центра Тяжести и т. под. Эти второстепенные принципы естественно могутъ быть выведены изъ нашихъ элементарныхъ законовъ и дѣйствительно были утверждены математиками на этомъ основаніи. Есть и другіе принципы, которые могутъ быть доказаны такимъ же образомъ; изъ нихъ я упомяну о Принципѣ «Сохраненія Плоскостей» *), описываемыхъ

*) [Въ механикѣ подъ словомъ «живая сила» разумѣется произведеніе массы тѣла на квадратъ его скорости. Живая сила тѣла или системы тѣлъ зависитъ, какъ показываетъ механика, только отъ внѣшнихъ дѣйствующихъ на систему силъ, а вовсе не отъ соединенія этихъ тѣлъ между собой и не отъ кривыхъ линій, которыя описываетъ каждое изъ этихъ тѣлъ; и если никакія внѣшнія силы не дѣйствуютъ на систему, то живая сила ея есть постоянная величина. Это свойство движенія, особенно полезное въ гидродинамикѣ, называется принципомъ сохраненія живой силы.

Также точно механика показываетъ, что если на систему не дѣйствуютъ никакія внѣшнія силы или же система подвержена дѣйствію только взаимнаго притяженія тѣлъ, изъ которыхъ она состоитъ, то тогда движеніе центра тяжести системы будетъ равномѣрно и прямолинейно; и такое общее свойство движенія называется «принципомъ сохраненія движенія центра тяжести».

Если далѣе на систему не дѣйствуютъ никакія внѣшнія силы или же только такія, которыя всѣ направляются къ начальной точкѣ координатъ, то проектируемыя на трехъ координированныхъ площадяхъ угловыя плоскости, описываемыя въ данное время радіусами, проведенными отъ начальной точки координатъ къ различнымъ тѣламъ системы,—всегда пропорціональны этому времени; что и называется «принципомъ сохраненія плоскостей.» См. Littrow's «*Theoret. und Pract. Astronomie*» т. III, с.

тѣлами системы, который есть обобщеніе спеціальныхъ законовъ, которые Кеплеръ открылъ, а Ньютонъ доказалъ относительно плоскостей, описываемыхъ каждой планетой вокругъ солнца. Я долженъ упомянуть также о Принципѣ «Неподвижности плоскости наибольшихъ площадей», такъ какъ эта плоскость не претерпѣваетъ никакого измѣненія отъ взаимнаго дѣйствія частей системы. Первый изъ этихъ принциповъ былъ обнародованъ почти одновременно, но въ разныхъ формахъ, Эйлеромъ, Бернулли и Дарси въ 1746 и 1747 гг., а второй Лапласомъ.

Нужно упомянуть еще объ одномъ законѣ, надѣлавшемъ много шуму въ свое время и подавшемъ поводъ къ горячимъ спорамъ. Это «Принципъ Малѣйшаго Дѣйствія». Мопертюи былъ того мнѣнія, что онъ можетъ доказать à priori телеологическими аргументами, что всякое механическое измѣненіе въ мірѣ происходитъ только подъ условіемъ возможно малѣйшаго дѣйствія *). Утверждая это, онъ предлагалъ измѣрять

---

70 и слѣд.; также Poisson «*Traité de Mécanique*». 2-е изд. т. II, с. 447; гдѣ на стр. 456 находится подробное объясненіе упоминаемой въ текстѣ «неподвижной плоскости». Литтровъ.]

*) Если тѣла системы приводятся въ движеніе только внутренними силами или хотя и внѣшними, но такими, которыя суть только функціи ихъ разстояній отъ опредѣленной точки, то кривыя, описываемыя этими тѣлами, и скорости, съ какими онѣ описываются, относятся между собой такъ, что сумма дѣйствія каждой массы, помноженная на интегралъ vds, есть максимумъ или минимумъ, гдѣ v обозначаетъ скорость, а ds—дифференціалъ пробѣгаемой дуги описываемой кривой, при предположеніи, что на-



Дѣйствіе произведеніемъ Скорости на Пространство; и когда эта мѣра была принята, то математики, хотя вообще и не согласились съ Мопертюи, однако нашли, что его принципъ выражаетъ замѣчательную и полезную истину, которая можетъ быть выведена изъ извѣстныхъ уже механическихъ основаній.

15. **Аналитическое Обобщеніе.—Соединеніе Статики съ Динамикой.**—Прежде чѣмъ я оставлю этотъ предметъ, мнѣ необходимо указать на особенный характеръ, который приняла Механика вслѣдствіе сообщеннаго ей крайняго аналитическаго обобщенія. Символическія числа или алгебраическіе знаки и операціи съ этими знаками составляютъ все дѣло механика теоретика; и хотя отношенія пространства суть главные руководящіе пункты въ механикѣ, однако нѣтъ ни одного трактата по этой наукѣ, въ которой была бы хоть одна графическая фигура, образно представляющая пространство. «Mécanique Analitique» Лагранжа, появившаяся въ 1788 г., есть совершеннѣйшій образецъ этого аналитическаго обобщенія. Планъ этого сочиненія, говоритъ авторъ его, совершенно новъ. «Я предположилъ себѣ всю теорію этой науки и искусство разрѣшать ея проблемы привести къ общимъ формуламъ, простое развитіе которыхъ дало бы всѣ

чальная и конечная точки кривой представляются какъ данныя или неподвижныя. Это общее свойство движенія называется принципомъ малѣйшаго дѣйствія. Лагранжъ въ своихъ юношескихъ опытахъ по механикѣ («*Mém. de l'Acad. de Turin*», vol. I et II), пытался основать на этомъ принципѣ все ученіе о движеніи. См. LITTROW's «*Teoret. u. pract. Astr.*» b. III, s. 75.)



уравненія, необходимыя для рѣшенія ея проблемъ. Читатель не найдетъ фигуръ въ этомъ сочиненіи. Методы, которые я представляю, не требуютъ ни построеній, ни другихъ геометрическихъ или механическихъ соображеній, но только алгебраическихъ операцій, которыя производятся по правильному и однообразному способу.» Такимъ образомъ Лагранжъ сдѣлалъ Механику отраслью Математическаго Анализа, тогда какъ прежде Математическій Анализъ составлялъ только пособіе или орудіе Механики *). Лагранжъ съ своимъ обобщающимъ геніемъ и съ своимъ тонкимъ аналитическимъ искусствомъ совершилъ это удивительное дѣло съ полнымъ успѣхомъ.

Читатель, знакомый съ математикой, знаетъ, что языкъ математическихъ символовъ по самой природѣ своей больше общъ, чѣмъ обыкновенный языкъ словъ; и такимъ образомъ истины, переведенныя на языкъ символовъ математики, часто сами собой указываютъ на свои обобщенія и въ своихъ отвѣтахъ на данные вопросы иногда высказываютъ то, о чемъ и не думалъ самъ предлагающій вопросы. Нѣчто подобное случилось и въ Механикѣ. Одна и та же формула выражаетъ общія условія какъ Статики, такъ и Динамики. Вслѣдствіе этой тенденціи къ обобщеніямъ, введенной анализомъ въ механику, математики очень неохотно признаютъ множественность Механическихъ принци-

*) Лагранжъ самъ назвалъ механику «аналитической Геометріей четырехъ измѣреній». Кромѣ трехъ координатъ, которыя опредѣляютъ положеніе тѣла въ пространствѣ, прибавляется еще время какъ четвертая координата. (Литтровъ).



повъ; и потому въ новѣйшихъ аналитическихъ трактатахъ по механикѣ всѣ теоріи ея выводятся изъ единственнаго Закона Инерціи. Въ самомъ дѣлѣ, если отожествить Силы со Скоростями, производимыми ими, и если примѣнить Принципъ Разложенія Силъ къ силамъ, понимаемымъ такимъ образомъ, то легко видѣть, что мы можемъ свести Законы Движенія на Принципъ Статики; и такая связь между Статикой и Динамикой, хотя ее и нельзя считать основательной съ философской точки зрѣнія, вѣрна по буквальному смыслу. Если мы такимъ образомъ усложняемъ или расширяемъ понятія, соединенныя съ терминомъ Сила, то мы дѣлаемъ этимъ наши элементарные принципы проще, чѣмъ они были прежде, и ихъ тогда оказывается меньше, чѣмъ было прежде; и такимъ образомъ тѣ, которые соглашаются принять такое расширенное значеніе словъ, могутъ этимъ путемъ получать еще новое добавочное обобщеніе динамическихъ принциповъ; а это, какъ я уже сказалъ, и принято во многихъ новѣйшихъ трактатахъ по механикѣ. Но я не хочу здѣсь разбирать, до какой степени этотъ пріемъ можетъ считаться дѣйствительнымъ шагомъ впередъ въ наукѣ.

Разсмотрѣвъ въ бѣгломъ очеркѣ исторію ученія о Силѣ и Притяженіи въ ихъ отвлеченномъ значеніи, мы возвратимся къ попыткамъ объяснить явленія вселенной при помощи этихъ отвлеченій.

Но прежде чѣмъ мы приступимъ къ этому, мы сдѣлаемъ еще одно замѣчаніе объ исторіи этой части науки. Вслѣдствіе того, что Ученіе о Движеніи обратилось главнымъ образомъ на блестящія проблемы Астрономіи, первоначальный и выдающійся пунктъ Ме-

ханики, именно Ученіе о Машинахъ, былъ почти совершенно упущенъ изъ виду. Машины стали самой незначительной частью Механики, подобно тому какъ измѣреніе земли, Землемѣрство, стало незначительной частью Геометріи. Однако приложеніе Математики къ ученію о Машинахъ давало во всѣ періоды науки, а преимущественно въ наше время, любопытные и важные результаты. Нѣкоторые изъ этихъ результатовъ указаны въ нижеслѣдующихъ приложеніяхъ.

(ПРИЛОЖЕНІЯ КЪ ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНІЮ).

Значеніе аналитической механики.

Въ текстѣ этой книги я сказалъ, что Лагранжъ въ послѣдніе годы своей жизни выражалъ сожалѣніе о томъ, что методы приближенія, употребляющіеся въ физической астрономіи, основываются на произвольныхъ пріемахъ, а не на знаніи результатовъ механическаго дѣйствія. Изъ новой біографіи Гаусса, величайшаго математика новѣйшаго времени, мы узнаемъ, что онъ относительно себя не могъ жаловаться на этотъ недостатокъ. Онъ замѣчаетъ *), что многіе изъ знаменитыхъ математиковъ, Эйлеръ весьма часто, а Лагранжъ иногда слишкомъ много, полагались на сим-

*) Gauss «*Zur Gedächtniss von W. Sartorius v. Waltershausen*», p. 80.



волическое вычисленіе своихъ проблемъ, шли, такъ сказать, механически и слѣпо за своими формулами и не въ состояніи были дать отчетъ въ каждомъ послѣдовательномъ шагѣ своихъ математическихъ выкладокъ. Гауссъ же, напротивъ, говоритъ о себѣ, что свои вычисленія онъ дѣлалъ совершенно сознательно, что каждый шагъ, каждую выкладку онъ понималъ ясно, зналъ цѣль ея и видѣлъ, къ чему она приведетъ, и потому никогда не уклонялся въ сторону, куда бы его могли завести выкладки. Это же самое, какъ онъ увѣряетъ, можно сказать и о Ньютонѣ.

Инженерная механика.

Принципы научной механики были открыты посредствомъ наблюденія надъ тѣлами, доступными для человѣка и находящимися у него подъ руками, какъ это мы видѣли, когда говорили объ открытіяхъ Стевина, Галилея и др., сдѣланныхъ еще до Ньютона. И даже когда возникъ споръ о живой силѣ (гл. V, § 2 этой книги), именно о томъ, слѣдуетъ ли измѣрять живую силу тѣла произведеніемъ его вѣса на скорость, или произведеніемъ вѣса на квадратъ скорости,—примѣры для подтвержденія сужденій брались изъ дѣйствія машинъ и другихъ земныхъ предметовъ. Но открытія Ньютона отожествили небесную механику съ земной; и съ этого времени небесныя механическія проблемы стали болѣе важны и привлекательны для математиковъ, чѣмъ проблемы относительно земныхъ движеній и машинъ. И такимъ образомъ съ

этого времени въ научной математической механикѣ развивались и обобщались проблемы, принципы и методы, главнымъ образомъ относящіеся къ движеніямъ небесныхъ тѣлъ; таковы были напр. проблема трехъ тѣлъ, принципъ сохраненія плоскостей и принципъ неподвижныхъ площадей, методъ варіаціи параметровъ и др. (гл. VI, §§ 7 и 14). Подобнымъ образомъ и въ новѣйшее время механика развивалась только примѣнительно къ небеснымъ движеніямъ, трудами Гаусса, Бесселя, Ганзена и др.

Тѣмъ неменѣе и научная механика, въ приложеніи къ земнымъ машинамъ, или промышленная механика, какъ ее называютъ, также сдѣлала нѣсколько шаговъ впередъ, о которыхъ стоитъ сказать даже въ общей исторіи науки. Такъ какъ многіе общіе законы механическаго движенія уже большей частью установились окончательно тѣми способами, о которыхъ мы разсказывали, то опредѣленіе условій и результатовъ какой угодно комбинаціи матеріаловъ машинъ и движеній становится просто математическимъ выводомъ изъ извѣстныхъ уже принциповъ. Но такіе выводы могутъ быть болѣе или менѣе легко, болѣе или менѣе ясно сдѣланы посредствомъ установленія общихъ терминовъ и общихъ положеній, которыя могли бы примѣняться и къ ихъ частнымъ условіямъ. Въ примѣръ этого мы можемъ указать здѣсь на новый отвлеченный терминъ, введенный для обозначенія общаго механическаго принципа, и особенно часто употребляемый французскими инженерами-математиками Понселе, Навье, Мореномъ и другими. Этотъ отвлеченный терминъ есть Работа (travail), замѣняемый иногда терминомъ Рабочая Сила;

а принципъ, выражаемый этимъ терминомъ, дающимъ нѣкоторое удобство при разрѣшеніи проблемъ, есть слѣдующій: Сдѣланная Работа (состоящая въ побѣжденіи сопротивленія, или въ произведеніи какого-нибудь другаго дѣйствія) равна рабочей силѣ, посредствомъ какихъ бы приводовъ ни прилагалась эта сила къ работѣ. Это не есть новый принципъ, такъ какъ онъ на дѣлѣ есть тоже самое, что принципъ Сохраненія Живой Силы; но онъ былъ употребляемъ математиками, о которыхъ я сказалъ, съ большой пользой и давалъ ихъ изложенію простоту и ясность, которыми отличается новая школа инженерной механики.

Рабочая сила, истраченная на работу, и работа, произведенная этой силой, обозначаются различными терминами, напр. Теоретическимъ Эффектомъ, Практическимъ Эффектомъ и под. Терминъ, употребительный между англійскими инженерами для обозначенія работы, которую производитъ машина, есть Duty (долгъ, должное дѣйствіе; по-русски это называется Полезнымъ Дѣйствіемъ); но такъ какъ это слово обозначаетъ скорѣе то, что должна дѣлать машина, чѣмъ то, что она дѣйствительно дѣлаетъ, то мы должны различать между теоретическимъ должнымъ или полезнымъ дѣйствіемъ и дѣйствительнымъ.

Разность между теоретическимъ и между дѣйствительно полезнымъ дѣйствіемъ машины происходитъ оттого, что часть рабочей силы тратится на произведеніе постороннихъ дѣйствій, т. е. того, что́ не признается полезной или должной работой, напр. на преодолѣніе Препятствій, на Треніе въ самой машинѣ

и пр. И до тѣхъ поръ, пока эти препятствія и посороннія траты не будутъ вѣрно вычислены, не возможно установить и показать соотвѣтствіе между теоретическимъ и между дѣйствительнымъ полезнымъ дѣйствіемъ машины. Хотя много было писано о теоріи паровыхъ машинъ, однако отношеніе между силой, истраченной въ машинѣ, и между работой, произведенной ею, не было разъяснено до тѣхъ поръ, пока не напечатаны были сочиненія графа Памбура: «Трактатъ о паровозѣ» въ 1835 г. и «Теорія паровыхъ машинъ» въ 1839.

Крѣпость матеріаловъ.

Между предметами, особенно занимавшими вниманіе людей, прилагавшихъ научную механику къ практикѣ, первое мѣсто занимаетъ Прочность или Крѣпость матеріаловъ, т. е. вопросъ о томъ напримѣръ, какую тяжесть можетъ выдержать не переломившись деревянный горизонтальный брусъ. Этимъ предметомъ занимался и Галилей; его навело на эти занятія посѣщеніе въ Венеціи арсенала и адмиралтейства. Результаты своихъ изслѣдованій онъ обнародовалъ въ своемъ «Діалогѣ» въ 1633 г. По своему способу воззрѣнія на предметъ, онъ представляетъ ту часть, въ которой ломается брусъ, короткимъ плечомъ наклоннаго рычага, сопротивляющагося перелому, а ту часть бруса, которая отломлена,—длиннымъ плечомъ рычага; причемъ нужно воображать, что рычагъ поворачивается около точки перелома какъ на шарнирѣ. Въ такомъ видѣ это вѣрно. Изъ этого принципа онъ получилъ

результаты, которые также вѣрны, именно, что крѣпость прямоугольнаго бруса пропорціональна ширинѣ, помноженной на квадратъ толщины, что слѣдовательно внутри пустой брусъ гораздо крѣпче, чѣмъ сплошной брусъ, имѣющій такую же массу и т. д.

Но онъ ошибался въ томъ, что предполагалъ, будто шарниръ, около котораго движется переламливающійся брусъ, находится какъ разъ на нижней еще не переломившейся поверхности, что только эта поверхность сопротивляется всякой перемѣнѣ и что брусъ ломается вдругъ по всей своей толщинѣ. Между тѣмъ какъ на дѣлѣ нижняя, еще не переломившаяся поверхность, претерпѣваетъ сжатіе въ то время, какъ противоположная поверхность ломается; и шарниръ, вокругъ котораго обращается ломающійся брусъ, есть средняя точка, гдѣ оканчиваются растяженіе и разрывъ и гдѣ начинаются сжатіе и сдавливаніе, точка, которая названа Нейтральной Осью. Это положеніе разъяснено было Маріоттомъ, и когда онъ разъяснилъ его, то оно показалось до такой степени вѣрнымъ и очевиднымъ, что всѣ согласились съ нимъ. Иванъ Бернулли *) въ 1705 г. разсматривалъ крѣпость матеріаловъ съ этой же точки зрѣнія. Этимъ же предметомъ занимались и многіе другіе извѣстные математики, напр. Вариньонъ, Паранъ, Бульбрингеръ, и въ Англіи, въ позднѣйшій періодъ, Робизонъ.

Вмѣстѣ съ переломомъ брусьевъ, математики изслѣдовали еще другой предметъ, именно сгибаніе прутьевъ, которому они подвергаются вслѣдствіе сво-

*) Opera II, p. 976.



ей эластичности прежде чѣмъ переломятся. Какъ опредѣлить Эластическую Кривую, т. е. ту кривую, какую образуетъ длинная эластическая линія, когда на нее давитъ тяжесть? Эта проблема была предложена Галилеемъ и вполнѣ была разрѣшена математически Эйлеромъ и другими.

Но брусья въ дѣйствительности не линіи, а твердыя тѣла, и ихъ сопротивленіе сгибу зависитъ отъ сопротивленія ихъ внутреннихъ частей растяженію и сжатію и бываетъ различно у брусьевъ, сдѣланныхъ изъ различныхъ веществъ. Чтобы выразить эти различія, Томасъ Юнгъ ввелъ новое понятіе, такъ-называемый Модулюсъ Эластичности, разумѣя подъ нимъ столбъ вещества такой высоты, чтобы тяжесть его произвела равное сжатіе по всей длинѣ бруса, предполагая, что величина сжатія одинакова во всѣхъ точкахъ прута *); такъ напр. если какой-нибудь прутъ, имѣющій 100 вершковъ длины, сжимается на одинъ вершокъ тяжестью въ 1000 фунтовъ, то вѣсъ модулюса его эластичности будетъ 100,000 фунтовъ. Это понятіе предполагаетъ собою законъ Гука, что растяженіе вещества пропорціонально его сжимаемости, и законъ этотъ также примѣняется къ сжатію.

Введеніе этого понятія о Модулюсѣ Эластичности весьма важно, такъ какъ оно одинаково примѣняется

---

*) Лекція XIII. Высота модулюса одинакова для одного и того же вещества, какова бы ни была толщина или вышина сдѣланнаго изъ него тѣла; напр. для атмосфернаго воздуха она составляетъ около 5 миль, а для стали— около 1500 миль.



и къ сгибу веществъ и къ тѣмъ малымъ сотрясеніямъ, которыя производятъ звукъ. Это понятіе, вмѣстѣ съ тѣмъ, повело къ весьма любопытнымъ и важнымъ результатамъ относительно силы сопротивленія сгибанію, какую обнаруживаютъ брусья нетолько тогда, когда на нихъ давятъ поперекъ, но и тогда, когда ихъ давятъ по направленію ихъ длины или въ какомъ-нибудь наклонномъ направленіи.

Но при переломахъ брусьевъ сопротивленія растяженію и сжиманію практически не равны; поэтому необходимо было опредѣлить посредствомъ опытовъ разницу между этими двумя силами. Многія лица занимались изслѣдованіями объ этомъ предметѣ, въ особенности Барловъ, членъ Королевской Военной Академіи *), который усердно и искусно разработывалъ этотъ предметъ опытами надъ деревомъ. Но разница между сопротивленіемъ растяженію и сжатію въ желѣзѣ требуетъ особаго изученія; и этимъ изученіемъ особенно усердно занимались въ настоящее время вслѣдствіе громаднаго увеличенія числа желѣзныхъ построекъ и въ особенности желѣзныхъ дорогъ. Кованное желѣзо уступаетъ сжимающей силѣ нѣсколько легче, чѣмъ растягивающей, между тѣмъ какъ желѣзо литое уступаетъ гораздо легче растягивающимъ, чѣмъ сжимающимъ вліяніямъ. Во всѣхъ случаяхъ сила желѣзнаго прута, сопротивляющаяся перелому, находится только въ верхней и нижней сторонѣ прута; потому что крѣпость матеріала дѣйствуетъ здѣсь на

*) An Essay on the Strength and Shape of Timber, изданіе 3, 1826 г.



самый большій рычагъ вокругъ нейтральной оси перелома. Вслѣдствіе этого вошло въ употребленіе дѣлать желѣзные брусья, которые состоятъ изъ двухъ плоскихъ и широкихъ пластинъ, которыя только въ нѣкоторыхъ мѣстахъ соединяются поперечными связями, такъ что брусъ выходитъ не сплошной. Тоткинсонъ сдѣлалъ много важныхъ опытовъ въ большихъ размѣрахъ, чтобы опредѣлить свойства и наивыгоднѣйшія формы такихъ брусьевъ.

Но хотя инженеры, посредствомъ такихъ опытовъ и изслѣдованій, дошли дотого, что могли вычислить крѣпость даннаго желѣзнаго бруса и размѣры, какіе нужно дать ему, чтобы онъ могъ выдержать данную тяжесть, однако даже самому смѣлому изъ нихъ не могло прійти въ голову, что могутъ быть сдѣланы желѣзныя полосы около 500 футовъ длины, которыя, если ихъ укрѣпить гдѣ-нибудь только концами, выдержатъ, не переломившись и даже замѣтно не погнувшись, тяжесть цѣлаго поѣзда желѣзной дороги, при скорости его неудержимаго движенія. Однако изъ такихъ полосъ, устроенныхъ и употребленныхъ въ дѣло съ полной увѣренностью и надеждой на нихъ, состоитъ большой трубчатый мостъ, устроенный Робертомъ Стефенсономъ чрезъ проливъ Менай и соединяющій Валлисъ съ островомъ Энглези. Верхняя и нижняя поверхность четыреугольной трубы этого моста состоятъ изъ плоскихъ желѣзныхъ полосъ, которыя по бокамъ соединены связями. При устройствѣ этого удивительнаго моста главное вниманіе было устремлено на то, чтобы нижняя поверхность была достаточно крѣпка для того, чтобы могла устоять про-

тивъ сжимающей силы тѣхъ тяжестей, которыя она будетъ поддерживать, и эта цѣль была достигнута тѣмъ, что верхняя поверхность трубы была устроена изъ цѣлаго ряда клѣтокъ, сдѣланныхъ изъ желѣзныхъ плитъ. Постройка аркъ, сводовъ, сводовъ съ ребрами надъ широкими пространствами возбуждала въ свое время большое удивленіе; но во всѣхъ этихъ случаяхъ постройка разсчитывалась и приводилась въ исполненіе надъ небольшими пространствами. Въ нашемъ же случаѣ нетолько пространство, чрезъ которое перекинутъ мостъ, несравненно длиннѣе всѣхъ другихъ пространствъ, чрезъ которыя когда-либо строились подобныя постройки, но и былъ еще изобрѣтенъ новый принципъ постройки желѣзной полосы, состоящей изъ клѣтокъ, и была самымъ точнымъ образомъ вычислена сила его сопротивленія; и все это блистательно подтвердилось опытомъ.

Кровли.—Арки.—Своды.

Вычисленіе механическихъ условій построекъ, состоящихъ изъ многихъ брусьевъ или полосъ, какъ напр. стропилъ для крышъ, основывается на самыхъ элементарныхъ принципахъ механики, и составляло предметъ научныхъ изслѣдованій въ прежнее время. На такія стропила можно смотрѣть какъ на собраніе рычаговъ. Составляющія ихъ части суть балки и брусья, которые несутъ на себѣ и поддерживаютъ тяжесть и связи, которыя сопротивляются тяжести тѣмъ, что не даютъ расходиться и сходиться брусьямъ. Пер-

выя части должны быть сплошными и массивными; но связи могутъ просто состоять изъ тонкихъ прутьевъ. Раціональная постройка многихъ крышъ на станціяхъ желѣзныхъ дорогъ, въ сравненіи съ массивными деревянными крышами старыхъ построекъ, показываетъ намъ, какой смѣлый выгодный прогрессъ сдѣланъ въ настоящее время. Математики-инженеры занимались изслѣдованіями объ условіяхъ и крѣпости построекъ, состоящихъ изъ деревянныхъ брусьевъ и балокъ и эти изслѣдованія составляли даже особый отдѣлъ въ англійскихъ механикахъ, подъ названіемъ плотничества. Въ наше время писали объ этомъ предметѣ два замѣчательные математика, Робизонъ и Томасъ Юнгъ.

Свойства простыхъ машинъ были извѣстны, какъ мы уже разсказывали, древнимъ Грекамъ. Но ихъ машины, вслѣдствіе различныхъ препятствій, не производили своего полнаго дѣйствія. Къ этимъ препятствіямъ, задерживающимъ часть дѣйствія машины, относится треніе одной части машины о другую; напр. треніе оси колеса о втулку, въ которую она вложена, треніе нарѣзовъ или шрубовъ винта о тѣ спиральныя винтовыя впадины, по которымъ движется винтъ, треніе клина о стороны, которыя онъ раздвигаетъ, треніе веревки о блокъ и т. д. Во всѣхъ этихъ случаяхъ дѣйствіе машины, состоящее въ произведеніи движенія, значительно уменьшается отъ тренія. Это треніе можетъ быть измѣряемо, а дѣйствія его вычисляемы; и такимъ образомъ возникла новая отрасль механики, которая усердно разработывалась.

Изъ дѣйствій тренія мы можемъ указать здѣсь на устойчивость кирпичей въ сводахъ. Каждый кирпичъ

въ полукругломъ сводѣ есть какъ-бы усѣченный клинъ и хотя такіе клинообразные камни можно сложить такъ, что они своимъ вѣсомъ будутъ взаимно держаться и уравновѣшиваться, однако это равновѣсіе будетъ не прочное и не устойчивое, такъ что малѣйшій толчекъ разрушилъ бы его и потому оно было бы неосуществимо на практикѣ. Но треніе камней въ сводѣ одинъ о другой устраняетъ эту неустойчивость, такъ что уравновѣшенный сводъ можетъ держаться прочно и служить для практическихъ цѣлей. Теорія сводовъ и аркъ также составляла отрасль механики, которая была много разработываема и содержитъ въ себѣ результаты, имѣющіе практическую пользу и теоретическій интересъ.

Я уже говорилъ объ изобрѣтеніи арки, купола и свода съ ребрами, составлявшихъ собою прогрессъ въ строительномъ искусствѣ. Эти изобрѣтенія всѣ были сдѣланы строителями практиками; механическая теорія не помогала ихъ изобрѣтенію, хотя впослѣдствіи объясняла и утверждала такія постройки. Такимъ образомъ они не составляютъ ни результата, ни приложенія теоріи, а просто служатъ только для нея объяснительнымъ примѣромъ. Изобрѣтатели всѣхъ этихъ построекъ неизвѣстны; и на самыя изобрѣтенія ихъ нужно смотрѣть только какъ на приготовленіе къ научной механикѣ, потому что въ нихъ уже выражаются ясныя и опредѣленныя понятія о механическомъ давленіи и выдерживаніи этого давленія.

Съ этой точки зрѣнія я и говорилъ (кн. IV, гл. V, § 5), что архитектура среднихъ вѣковъ указыва-

ла на прогрессъ мысли и дала поводъ къ образованію статики какъ науки.

Какъ на особенный примѣръ практическаго осуществленія развивавшихся механическихъ понятій, мы можемъ указать на разъемныя подпорки, которыя поддерживаютъ каменные своды, и въ особенности на различные способы, посредствомъ которыхъ камни сводовъ такъ пересѣкали другъ друга, чтобы они могли закрыть занятое подпорками пространство ниже самаго свода съ ребрами. Эти постройки, сдѣланныя строителями XII столѣтія и слѣдующихъ за нимъ, представляютъ собою самый замѣчательный шагъ въ строительной механикѣ, послѣ изобрѣтенія арки сводовъ.

Замѣчательно, что настоящему времени между многими другими изобрѣтеніями удалось также сдѣлать и въ этой области изобрѣтенія, которыя представляютъ собой самый замѣчательный шагъ въ механикѣ аркъ, какой только былъ сдѣланъ когда-либо послѣ введенія указанныхъ сводовъ съ ребрами. Я говорю о такъ-называемыхъ косыхъ аркахъ, въ которыхъ ряды камней или кирпичей, изъ которыхъ строится мостъ, идутъ наклонно къ стѣнамъ моста. Такіе мосты дѣлаются обыкновенно для желѣзныхъ дорогъ, потому что они сберегаютъ мѣсто и матеріалъ и не требуютъ особеннаго искусства при постройкѣ. Когда эта проблема была разрѣшена практически, то математики тотчасъ же разъяснили механическіе принципы, выражающіеся въ такихъ постройкахъ. Въ этомъ случаѣ, также какъ и во всѣхъ предшествующихъ основныхъ изобрѣтеніяхъ въ строительномъ искусствѣ, имя изо-

брѣтателя, насколько я знаю, не извѣстно, хотя самое изобрѣтеніе сдѣлано только за нѣсколько лѣтъ назадъ *).

---

*) Послѣ того, какъ это было написано, мнѣ указали въ *Cyclopaedia* Риса статью Oblique Arches, гдѣ разъяснено весьма удовлетворительно это изобрѣтеніе и названъ изобрѣтатель — инженеръ, по имени Чапманъ. Здѣсь же говорится, что первая арка такого рода была устроена въ 1787 г. въ Наасѣ подлѣ Кильдара въ Ирландіи.

КНИГА VII.

МЕХАНИЧЕСКІЯ НАУКИ.

(ПРОДОЛЖЕНІЕ).

ИСТОРІЯ

ФИЗИЧЕСКОЙ АСТРОНОМІИ.

Descend from heaven, Urania, by that name
If rightly thou art called, whose voice divine
Following, above the Olympian hill I soar,
Above the flight of Pegasean wing.
The meaning, not the name, I call, for thou
Nor of the muses nine, nor on the top
Of old Olympus dwell'st: but heavenly-born,
Before the hills appeared, or fountain flowed,
Thou with Eternal Wisdom didst converse,
Wisdom, thy sister.

Paradise Lost, B. VII.

ГЛАВА I.

Приготовительный періодъ къ эпохѣ Ньютона.

НАМЪ предстоитъ теперь разсматривать послѣдній и самый блестящій періодъ прогресса астрономіи,—великое завершеніе исторіи древнѣйшей и плодотворнѣйшей области человѣческаго знанія,—тѣ событія, которыя возвысили эту науку до неоспоримаго превосходства надъ другими науками,—первый великій примѣръ, гдѣ огромная и запутанная масса явленій была несомнѣнно объяснена единственной совершенно простой причиной,—однимъ словомъ первый примѣръ образованія настоящей Индуктивной Науки.

Какъ во всѣхъ другихъ значительныхъ успѣхахъ реальной науки, такъ и въ этомъ, полному открытію новыхъ истинъ однимъ геніальнымъ умомъ предшествовали умственныя движенія, указанія, изысканія и попытки со стороны другихъ умовъ,—словомъ предшествовали признаки, которые показывали, что умы людей получили движеніе по тому пути, на ко-

торомъ лежала истина, и уже начали открывать ея сущность. Въ настоящемъ очень важномъ и интересномъ случаѣ особенно необходимо познакомиться съ этими приготовленіями къ эпохѣ полнаго открытія истины.

Францисъ Баконъ. Что Астрономія должна сдѣлаться Физической Наукой, что движенія небесныхъ тѣлъ должны быть объясняемы извѣстными причинами и сводимы къ опредѣленнымъ законамъ,—это считали настоятельной и неизбѣжной необходимостью всѣ дѣятельные и философскіе умы того времени, о которомъ мы теперь говоримъ. Мы уже видѣли, какъ подобное убѣжденіе дѣйствовало на Кеплера и побуждало его продолжать рядъ трудныхъ изслѣдованій, которыя привели его наконецъ къ его открытіямъ. Не безъинтересно будетъ указать, какъ сильно коренилось въ умѣ Бакона это убѣжденіе въ необходимости дать астрономіи характеръ физической науки. Баконъ, котораго взглядъ на прогрессъ знанія былъ болѣе всеобъемлющъ и который смотрѣлъ на него съ болѣе высокой точки зрѣнія, чѣмъ Кеплеръ, не раздѣлялъ тогдашнихъ астрономическихъ предразсудковъ, такъ какъ онъ относительно этого предмета принадлежалъ къ другой школѣ и въ тоже время имѣлъ меньше собственно математическихъ знаній. Въ своемъ «Описаніи Умственнаго Глобуса» Баконъ говоритъ, что, такъ какъ Астрономія до этого времени считала своимъ дѣломъ изученіе законовъ небесныхъ движеній, а Философія—изученіе ихъ причинъ, то обѣ они дѣйствовали безъ связи и одна не обращала должнаго вниманія на результаты другой. Философія пренебре-

гала фактами, а астрономія придерживалась только своихъ математическихъ гипотезъ, которыя должны бы были считаться только вспомогательными средствами вычисленій. Такъ какъ, продолжаетъ онъ *), каждая наука до сихъ поръ была слаба и дурно построена, то мы очевидно должны принять какое нибудь болѣе твердое основаніе; и это основаніе состоитъ въ томъ, что эти двѣ науки, которыя, вслѣдствіе ограниченности взглядовъ и традицій профессоровъ, считались такъ долго отдѣльными, на дѣлѣ суть одно и тоже и составляютъ одну науку.» Нужно согласиться, что какъ бы ни были ошибочны положительныя астрономическія понятія Бакона, но эти его общія воззрѣнія на сущность и положеніе науки весьма основательны и философичны.

Кеплеръ. Баконъ въ своихъ попыткахъ составить чисто физическій взглядъ на небесныя движенія и ихъ отношеніе къ землѣ потерпѣлъ неудачу, подобно другимъ его современникамъ. Было уже сказано, что общей причиной этихъ неудачъ былъ недостатокъ вѣрныхъ понятій о движеніи или, другими словами, несуществованіе науки Динамики. Во время Бакона и Кеплера мало-по-малу являлась возможность подвести небесныя движенія подъ законы земныхъ движеній, которые тогда только стали изучаться. Поэтому, какъ мы видѣли, во всѣхъ физическихъ воззрѣніяхъ Кеплера обнаруживается незнаніе перваго закона движенія. Онъ утверждалъ, что физическая астрономія должна найти посредствомъ одной только проблемы и одну

*) Bacon, *Op.* vol. IX, p. 221.

причину, которая поддерживаетъ постоянно движенія планетъ. По его мнѣнію въ солнцѣ существуетъ извѣстная Сила, которая движетъ вокругъ него всѣ небесныя тѣла, находящіяся въ сферѣ ея вліянія. Онъ объясняетъ *) сущность этой Силы различнымъ образомъ, сравнивая ее то со Свѣтомъ, то съ Магнитной Силой, которая походитъ на нее тѣмъ, что такъ же дѣйствуетъ на разстояніи и такъ же производитъ тѣмъ меньшее дѣйствіе, чѣмъ больше дѣлается разстояніе. Но очевидно, что эти сравненія весьма неудовлетворительны, потому что они не объясняютъ, какимъ образомъ солнце производитъ на разстояніи движеніе какой-нибудь планеты, которое имѣетъ косвенное направленіе относительно линіи, по направленію которой дѣйствуетъ сила солнца. Чтобы помочь этому затрудненію, Кеплеръ допускалъ вращеніе солнца вокругъ его оси и думалъ, что это вращеніе можетъ быть причиной движенія планетъ, подобнаго которому онъ не могъ найти въ земныхъ движеніяхъ. Но другое сравненіе, къ которому онъ прибѣгалъ, представляло болѣе существенный и болѣе понятный родъ механическаго движенія, которое похоже было на небесное движеніе,— именно онъ представлялъ потокъ жидкой матеріи, текущей вокругъ солнца и увлекающей за собой планеты, подобно тому какъ ручей уноситъ лодку. Въ его сочиненіи о планетѣ Марсъ есть глава, имѣющая такое заглавіе: «Физическое разсужденіе, въ которомъ доказывается, что источникъ той Силы, которая движётъ планеты, обтекаетъ вокругъ небесныхъ про-

---

*) De stella Martis, P. 3, c. XXXIV.

странствъ, подобно ручью или водовороту, и движется гораздо скорѣе, чѣмъ планеты.» Я думаю, что каждый, читавшій фразы Кеплера о движущей силѣ, о магнетической природѣ, о нематеріальной силѣ солнца, согласится, что онѣ имѣютъ опредѣленное значеніе только тогда, если ихъ объяснять выраженіями, приведенными выше. Водоворотъ жидкости, постоянно вращающійся вокругъ солнца, самъ поддерживающійся въ этомъ движеніи вращеніемъ солнца и наконецъ увлекающій и планеты въ своемъ потокѣ вокругъ солнца, какъ водоворотъ увлекаетъ за собой соломенки и другія небольшія тѣла,—все это по крайней мѣрѣ можно понять и ясно себѣ представить. И хотя Кеплеръ повидимому считаетъ этотъ потокъ или водоворотъ не матеріальнымъ, однако онъ приписываетъ ему свойство преодолѣвать инерцію тѣлъ, приводить ихъ въ движеніе и поддерживать ихъ въ движеніи, единственныя матеріальныя свойства, которыя только и могутъ производить какое-нибудь дѣйствіе. Такимъ образомъ астрономическія воззрѣнія Кеплера въ сущности суть ни что иное, какъ ученіе о Вихряхъ, и онъ самъ при случаѣ такъ и представляетъ ихъ. Но онъ называетъ эти вихри нематеріальными сущностями и вообще употребляетъ объ этомъ предметѣ двусмысленныя и неопредѣленныя выраженія, такъ что вся эта его теорія представляется запутанной, чего и слѣдовало ожидать отъ него при недостаткѣ въ немъ основательныхъ механическихъ понятій и при его слишкомъ живой и изобрѣтательной фантазіи. Мы можемъ даже сказать, что во времена Кеплера и нельзя было составить болѣе подходящей теоріи, чѣмъ теорія вих-

рей; и нужны были великіе успѣхи Механики, чтобы показать всю несостоятельность теоріи.

Декартъ. Если Кеплера можно извинить и даже можно удивляться ему за то, что онъ въ свое время составилъ теорію Вихрей, то обстоятельства совершенно измѣнились, когда были вполнѣ развиты законы движенія и когда люди, знавшіе положеніе механической науки, должны были смотрѣть на движенія небесныхъ тѣлъ какъ на механическія проблемы, подчиненныя такимъ же условіямъ и допускающія такую же точность рѣшеній, какъ и всѣ другія проблемы механики. Поэтому при тогдашнемъ положеніи науки было большой несообразностью то обстоятельство, что снова явилась Теорія Вихрей и притомъ высказана была Декартомъ, который воображалъ о себѣ, или его почитатели воображали объ немъ, будто онъ былъ однимъ изъ открывателей истинныхъ Законовъ Движенія. Онъ обнаружилъ большое самообольщеніе и неменьшую моральную слабость тѣмъ именно, что съ такой торжественностью провозгласилъ или повторилъ грубое изобрѣтеніе до-математическаго періода въ то самое время, когда лучшіе математики Европы, какъ-то: Борелли въ Италіи, Гукъ и Валлисъ въ Англіи и Гюйгенсъ въ Голландіи, терпѣливо трудились надъ тѣмъ, чтобы привести проблему небесной механики въ болѣе опредѣленную форму, чтобы можно было разрѣшить ее наконецъ однажды навсегда.

Я не думаю утверждать, что Декартъ заимствовалъ свою теорію у Кеплера, или у кого-либо изъ своихъ предшественниковъ; потому что она сама по себѣ очевидна и ее не трудно было открыть, особенно если

предположить, что основатель ея искалъ для ней основаній въ случайныхъ явленіяхъ, представляющихся чувствамъ, а не въ точныхъ законахъ движенія. Но было бы нераціонально отнимать за это у философа честь построенія обширной системы на видимо простыхъ принципахъ, системы, которой такъ много удивлялись въ то время и которая главнымъ образомъ привлекала послѣдователей его взглядовъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ мы осмѣливаемся сказать, что система воззрѣній, выведенныхъ такимъ образомъ изъ нѣсколькихъ предзанятыхъ принциповъ и неповѣряемыхъ на каждомъ шагу частными и точными фактами, едвали можетъ заключать въ себѣ хоть часть истины. Декартъ говорилъ, что онъ считалъ бы неважнымъ показать, какъ устроенъ міръ, еслибы не могъ при этомъ доказать, что онъ необходимо и долженъ былъ быть такъ устроенъ. Болѣе скромная философія, возвысившаяся надъ заносчивостью этой школы, довольствуется только тѣмъ, что собираетъ и группируетъ всѣ свои знанія, полученныя опытомъ и наблюденіемъ, и ей не приходитъ въ голову присоединять свое рѣшительное «такъ должно быть», когда природа говоритъ намъ, какъ чтó есть или существуетъ на дѣлѣ. Однако философы, строющіе все a priori, всегда пользовались расположеніемъ людей. Дедуктивная форма ихъ спекуляцій даетъ имъ прелесть и кажущуюся несомнѣнность, какія имѣетъ математика. И такъ какъ подобные философы не считаютъ нужнымъ прибѣгать къ труднымъ и продолжительнымъ опытамъ, къ измѣреніямъ и многосложнымъ наблюденіямъ, которыя такъ скучны и непріятны для людей горящихъ нетерпѣ-

ніемъ вдругъ сдѣлаться всеобъемлющими мудрецами, то всякій частный фактъ, которому даетъ мнимое объясненіе спекулятивная система, кажется уже несомнѣннымъ и непоколебимымъ доказательствомъ въ ея пользу.

Наше дѣло относительно Декарта состоитъ только въ разборѣ его физической Теоріи Вихрей, которая, какъ бы ни была она велика и знаменита въ свое время, теперь уже совершенно и навсегда исчезла. Она была изложена въ его «Principia Philosophiae» въ 1644 г. Чтобы дойти до этой теоріи, онъ начинаетъ, какъ и слѣдовало ожидать отъ него, съ весьма общихъ разсужденій. Въ началѣ этого сочиненія онъ ставитъ аксіому, что человѣкъ, ищущій истины, хоть одинъ разъ въ жизни долженъ усумниться въ томъ, чему онъ тверже всего вѣритъ. Представляя себя самого освободившимся отъ всякой вѣры во всѣ вещи, для того чтобы найти ту часть ея, которую слѣдуетъ удержать, онъ начинаетъ свои разсужденія своимъ знаменитымъ положеніемъ: «я мыслю, слѣдовательно я существую», которое кажется ему несомнѣннымъ и неизмѣннымъ принципомъ, заключающимъ нѣчто больше того, что въ немъ есть. Съ этимъ принципомъ онъ тотчасъ же соединяетъ идею, изъ которой онъ выводитъ дѣйствительное существованіе Бога и его качества. Далѣе онъ утверждаетъ, что пустота невозможна нигдѣ во вселенной; вся вселенная поэтому наполнена матеріей. Что вся матерія раздѣлена на равныя, прямоугольныя тѣла,—это кажется ему самымъ простымъ и поэтому самымъ естественнымъ

предположеніемъ *). Такъ какъ эта матерія находится въ движеніи, то эти тѣла необходимо принимаютъ сферическую форму; при этомъ оторвавшіеся вслѣдствіе тренія углы ихъ (подобно опилкамъ) образуютъ второй болѣе тонкій видъ матеріи **). Есть еще третій видъ матеріи, состоящій изъ частей болѣе грубыхъ и менѣе способныхъ къ движенію. Изъ перваго вида матеріи составились свѣтящіяся тѣла напр. солнце и неподвижныя звѣзды; изъ втораго—прозрачная субстанція неба, и наконецъ изъ третьяго—матеріальныя непрозрачныя тѣла, т. е. земля, планеты и кометы. Можно предположить, что движенія этихъ частей матеріи имѣютъ форму круговращающихся потоковъ или вихрей †). Такимъ образомъ матерія перваго вида собирается къ центру каждаго вихря, между тѣмъ какъ второй видъ или тонкая матерія окружаетъ ее и посредствомъ своей центральной силы образуетъ свѣтъ. Планеты вращаются вокругъ солнца отъ дѣйствія его вихря, и каждая планета находится въ такомъ разстояніи отъ солнца, чтобы ей помѣщаться въ той части вихря, которая соотвѣтствуетъ ея твердости и подвижности ††). Движенія планетъ уклоняются отъ правильной кругообразной формы вслѣдствіе вліянія разныхъ причинъ; напр. одинъ вихрь можетъ быть сжатъ въ овальную форму давленіемъ сосѣднихъ вихрей. Спутники подобнымъ же образомъ вращаются около своихъ планетъ вслѣдствіе второстепенныхъ вихрей; между тѣмъ какъ кометы имѣютъ возмож-

*) Princip. p. 58. **) Ibid. p. 56, 59.
†) Ibid. p. 61. ††) Ibid. c. 140, p. 114.

ность переходить изъ одного вихря въ ближайшій сосѣдній, и такимъ образомъ змѣеобразнымъ путемъ проникать изъ одной системы въ другую чрезъ всю вселенную.

Намъ нѣтъ необходимости говорить здѣсь о томъ, что эта система совершенно несостоятельна въ механическомъ отношеніи и несообразна съ астрономическими наблюденіями и измѣреніями. Самый замѣчательный фактъ относительно этой системы тотъ, что она была общепринята въ свое время и имѣла непродолжительный успѣхъ даже между разумными людьми и свѣдущими математиками. Это можно приписать отчасти тому обстоятельству, что философы того времени готовы были и даже очень желали имѣть физическую астрономію, соотвѣтствующую тогдашнему положенію знаній; отчасти характеру и положенію Декарта. Онъ пріобрѣлъ себѣ высокую славу во всѣхъ отрасляхъ философіи, и особенно прославился своимъ изобрѣтательнымъ талантомъ какъ математикъ. Онъ былъ человѣкъ семейный и много видавшій воинъ; безобидный философъ, за свои мнѣнія преслѣдуемый съ яростью ханжею, голландскимъ духовнымъ Воэтомъ; любимецъ и учитель двухъ отличныхъ принцессъ и, какъ носился слухъ, даже любовникъ одной изъ нихъ. Это была Елизавета, дочь курфирста Фридриха и, слѣдовательно, внучка англійскаго короля Іакова I. Его другой ученицей была знаменитая Христина шведская, обнаруживавшая такую ревность къ его урокамъ, что уже пятый часъ утра назначила для занятій съ нимъ. Въ суровомъ шведскомъ климатѣ и въ зимнее время это была трудная задача для организма философа, ро-

дившагося въ ясныхъ долинахъ Луары; и послѣ короткаго пребыванія въ Стокгольмѣ онъ умеръ отъ воспаленія легкихъ въ 1650 г. Онъ постоянно велъ дѣятельную переписку съ своимъ другомъ Мерсеномъ, котораго французы называли «резиденціей Декарта въ Парижѣ» и который извѣщалъ его обо всемъ, что дѣлалось въ ученомъ мірѣ. Говорятъ, что онъ посылалъ Мерсенну свой первый планъ системы вселенной, который основанъ былъ на предположеніи существованія пустоты въ природѣ; Мерсеннъ отвѣчалъ ему, что пустота уже больше не въ модѣ въ Парижѣ, вслѣдствіе чего онъ принялся за передѣлку своей системы и теперь уже основалъ ее на предположеніи существованія повсюду наполненнаго пространства. Можетъ быть онъ хотѣлъ только избѣжать обнародованія мнѣній, которыя причинили бы ему непріятности. Онъ при всѣхъ случаяхъ старался излагать ученіе о движеніи земли такъ, чтобы не оскорбить изданнаго противъ этого ученія папскаго декрета, и публикуя свою теорію вихрей, онъ говоритъ: «несомнѣнно, что міръ сотворенъ сначала во всемъ его совершенствѣ; однако все-таки полезно разсмотрѣть, какъ міръ могъ бы произойти по извѣстнымъ принципамъ, хотя мы вѣрно знаемъ, что онъ произошелъ не такъ.» Въ самомъ дѣлѣ, во всей своей философіи онъ является человѣкомъ, вполнѣ заслуживающимъ двойное названіе «pusillanimus simul et audax» (трусъ и храбрецъ), которое Баконъ далъ Аристотелю за его физическія воззрѣнія. *)

---

*) Bacon, *Descriptio Globi intellectualis.*



Какъ бы то ни было, но система его была хорошо принята и быстро распространилась. Конечно Гассенди говоритъ, что онъ не встрѣчалъ никого, кто бы имѣлъ храбрость прочитать до конца «Principia» *); но молодые профессора съ жаромъ ухватились за новую систему и стали ея приверженцами и защитниками. Разсказываютъ **), что парижскій университетъ уже совсѣмъ было рѣшился обнародовать формальный эдиктъ противъ новаго ученія, и его удержало отъ этого только появленіе пасквиля, о которомъ стоитъ сказать нѣсколько словъ. Онъ сочиненъ извѣстнымъ поэтомъ Буало около 1684 г. Это сочиненіе написано въ формѣ судебнаго прошенія отъ имени университета въ защиту Аристотеля и къ нему приложенъ былъ эдиктъ съ горы Парнасса. Очевидно, что въ то время на дѣло Картезіанизма смотрѣли какъ на дѣло свободнаго изслѣдованія и новыхъ открытій, боровшееся съ ханжествомъ, предразсудками и невѣжествомъ. И поэтъ вѣроятно далеко не могъ быть строгимъ или основательнымъ критикомъ подобнаго рода истинъ. «Прошеніе магистровъ свободныхъ искусствъ, профессоровъ и начальниковъ Парижскаго Университета нижайше объясняетъ, что высокій и несравненный Аристотель, какъ всѣму свѣту безспорно извѣстно, есть первый основатель четырехъ элементовъ: огня, воздуха, воды и земли; что онъ всемилостивѣйше пожаловалъ имъ простоту, которой они не имѣли по естественному праву;» и т. д. «Но что не взирая на

*) Delambre, *Astr. Moyen*. II. 163.
**) Encycl. Brit. статья: Cartesianism

это, два человѣка, называющіе себя Умомъ и Опытомъ, согласились между собою съ злымъ умысломъ отнять у сказаннаго Аристотеля рангъ, принадлежащій ему по праву, и воздвигнуть себѣ тронъ на развалинахъ его авторитета, и, дабы вѣрнѣе достигнуть цѣли, привлекли на свою сторону другихъ злонамѣренныхъ заговорщиковъ, которые называя себя Картезіанцами и Гассендистами, также начали свергать съ себя иго своего учителя, Аристотеля; и, презирая его власть, съ безпримѣрною дерзостью оспариваютъ пріобрѣтенное имъ право дѣлать истинное ложнымъ и ложное истиннымъ,» и т. д. Въ этомъ сочиненіи однако не представлено ни одно изъ характеристическихъ положеній Декарта; но положительныя черты его ученія нашли себѣ доступъ въ Парижскій Университетъ, несмотря на всѣ нападенія его противниковъ. Физика Рого, ревностнаго ученика Декарта, напечатанная въ Парижѣ около 1670 г. (второе изданіе въ 1672 г.), была долгое время учебной книгой въ школахъ Англіи и Франціи. Я не буду говорить здѣсь о позднѣйшихъ защитникахъ картезіанской системы, потому что въ ихъ рукахъ она подверглась сильнымъ измѣненіямъ вслѣдствіе столкновенія и борьбы ея съ Ньютоновой системой *).

(*) Новое ученіе Ньютона, какъ оно изложено въ его «Principia», встрѣтило много сопротивленія нетолько за границей, но даже и въ самой Англіи, и спустя долгое время послѣ его появленія. Во Франціи приняли это ученіе прежде всѣхъ Лувилль и Мопертюи, но только тридцать лѣтъ спустя послѣ его обнародованія, въ теченіи которыхъ о немъ никто почти и не зналъ, за исключеніемъ нѣсколькихъ ученыхъ, каковы были, напримѣръ Гюй-

Насъ интересуютъ Декартъ и его школа только потому, что они составляютъ часть картины умствен-

---

генсъ, Лейбницъ, Бернулли. Въ голландскіе университеты оно было перенесено Гравезандомъ. Но въ Англіи, какъ разсказываетъ Брьюстеръ въ своей біографіи Ньютона (Лондонъ, 1821), Система Декартовыхъ Вихрей преподавалась въ высшихъ школахъ какъ единственно вѣрная до самой смерти Ньютона, значитъ сорокъ лѣтъ спустя послѣ изданія его перваго сочиненія. Еще въ 1715 г. физика Рого, написанная чисто въ картезіанскома духѣ, переведена была съ французскаго на латинскій языкъ и употреблялась какъ руководство для преподаванія даже въ Кембриджскомъ университетѣ, гдѣ жилъ и преподавалъ самъ Ньютонъ. Большинство профессоровъ этого и прочихъ англійскихъ университетовъ пришли бы въ негодованіе, еслибы кто-нибудь съ каѳедры сталъ преподавать ученіе Ньютона Въ Англіи тогда вошло въ моду хвалить въ Ньютонѣ его глубокую ученость и иногда гордиться имъ какъ украшеніемъ страны, особенно съ тѣхъ поръ какъ онъ сталъ занимать высокія и важныя должности въ государствѣ, но дальше такого почтенія дѣло не шло и въ особенности что касается его ученій и вычисленій, которыхъ даже не понимали многіе изъ профессоровъ, то они оставались въ школахъ въ полномъ забвеніи и были даже подъ нѣкотораго рода запрещеніемъ, потому что записные ученые считали болѣе удобнымъ оставаться при старомъ и не ломать головъ такими предметами. Извѣстный Самуилъ Кларкъ въ 1718 отважился на первую попытку возвыситься надъ массой ученыхъ и ея рутиной, но зато съ какой осторожностью! Такъ какъ упомянутое сочиненіе Рого дурно было переведено на латинскій языкъ, то онъ сдѣлалъ свой лучшій пересодъ съ примѣчаніями въ концѣ каждой главы и въ этихъ примѣчаніяхъ онъ осмѣлился, не нападая даже издалека на заключавшіяся въ текстѣ картезіанскія положенія прибавить къ нимъ ньютоновскія воззрѣнія какъ

наго положенія Европы предъ самымъ обнародованіемъ Ньютоновскихъ открытій. Кромѣ этого картезіанскія

любопытныя добавленія или параллели. Лучшая латынь и бо̀льшая аккуратность, съ какою сдѣлано было новое изданіе старой книги, были причиной, что она могла употребляться профессорами на ихъ лекціяхъ. Военная хитрость вполнѣ удалась и успѣхъ превзошелъ всѣ ожиданія. Профессоръ читалъ попрежнему свой любимый текстъ, а ученикъ, если могъ и хотѣлъ, читалъ примѣчанія. Кто изъ учениковъ имѣлъ глаза, скоро могъ видѣть, гдѣ находится истина, особенно здѣсь, когда она на каждомъ шагу противопоставлялась заблужденію. Такимъ способомъ даже въ Кембриджѣ введена была ньютонова философія, хотя сначала тайно, подъ защитою и даже подъ формою картезіанской. — Въ Шотландіи она встрѣтила меньше сопротивленія, потому что здѣсь особенно много приверженцевъ имѣли оба братья, Яковъ и Давидъ Грегори. Оба уже давно читали въ Эдинбургѣ лекціи о ньютоновой Системѣ Тяготѣнія, между тѣмъ какъ доценты въ Кембриджѣ, какъ говоритъ Уистонъ въ «Memoirs of his life» все еще изучали мечты Картезія. Даже философія Локка, друга Ньютона, была гораздо раньше и благосклоннѣе принята въ шотландскихъ университетахъ, чѣмъ въ собственно англійскихъ. Впрочемъ самъ Ньютонъ нѣсколько лѣтъ преподавалъ свое новое ученіе въ Кембриджѣ, и Уистонъ разсказываетъ, что онъ однажды прослушалъ одну изъ его лекцій и ни слова изъ ней не понялъ. Въ 1707 году знаменитый слѣпецъ математикъ Саундерсонъ началъ преподавать въ Кембриджѣ теорію Ньютона, и его лекціи, такъ какъ онѣ сопровождались интересными опытами, были приняты съ общимъ одобреніемъ и привлекали множество слушателей всякаго рода. Вскорѣ потомъ изученіе Principia весьма распространилось при университетахъ въ Кембриджѣ и Оксфордѣ и вслѣдствіе этого цѣна этого сочиненія возвысилась такъ, что за него нужно было платить вчетверо дороже.

воззрѣнія не имѣютъ никакого другаго значенія.—Когда земляки Декарта не могли уже болѣе отказать въ своемъ сочувствіи и удивленіи къ ньютоновой теоріи, то у нихъ вошло въ моду говорить, что Декартъ былъ необходимымъ предшественникомъ Ньютона, и они повторяли любимое выраженіе Лейбница, что Картезіанская философія была преддверіемъ къ Истинѣ. Это сравненіе очень неудачно; гораздо вѣрнѣе было бы сказать, что ея послѣдователи вовсе не попали въ дверь истины. Тѣ, которые первые вошли въ самое святилище истины, никогда и не бывали въ этомъ мнимомъ преддверіи ея; а тѣ, которые были прежде въ этомъ преддверіи, проникли послѣдними въ храмъ истины. Въ такомъ же духѣ высказано было и замѣчаніе Плайфера, что услуга, которою Ньютонъ обязанъ Декарту, состоитъ въ томъ, что послѣдній «исчерпалъ заблужденіе въ самомъ привлекательномъ его видѣ». Но мы скоро увидимъ, что эта привлекательность не имѣла никакой силы надъ тѣми, которые представляли себѣ проблему въ ея истинномъ свѣтѣ, каковы напр. были итальянскіе и англійскіе математики. Гораздо вѣрнѣе замѣчаніе Вольтера, что въ зданіи Ньютона нѣтъ ни одного камня, заимствованнаго изъ построекъ Декарта. Въ объясненіе этого онъ говоритъ, что Ньютонъ только однажды читалъ сочиненіе Декарта, что при чтеніи первыхъ семи или осьми страницъ постоянно писалъ на поляхъ «ошибка»,

Котесъ, наблюдавшій за новымъ изданіемъ его, говоритъ въ своемъ прекрасномъ предисловіи, что онъ могъ получить экземпляры прежнихъ изданій только по весьма дорогой цѣнѣ. — Литтровъ.]

и дальше не сталъ читать. Этотъ экземпляръ съ такими отмѣтками, прибавляетъ Вольтеръ, хранился нѣкоторое время у племянника Ньютона *).

Гассенди. Но и въ Англіи система Декарта была далеко не общепринята. Мы видѣли, что Гассенди считали союзникомъ Декарта, однимъ изъ руководителей новой философіи, однако онъ не былъ безусловнымъ почитателемъ сочиненій послѣдняго. Собственныя воззрѣнія Гассенди на причины движенія небесныхъ тѣлъ были не очень ясны и не вполнѣ сообразны съ законами механики, хотя онъ былъ однимъ изъ тѣхъ ученыхъ, которые много сдѣлали для доказательства того, что эти законы могутъ быть приложены къ астрономическимъ движеніямъ. Въ главѣ, имѣющей такое заглавіе: «Quae sit motrix siderum causa» (Какая причина движенія звѣздъ), онъ разбираетъ разныя мнѣнія объ этомъ предметѣ, и повидимому расположенъ принять то изъ нихъ, которое видитъ причину движенія небесныхъ тѣлъ въ извѣстныхъ фибрахъ, дѣйствіе которыхъ подобно дѣйствію мускуловъ у животныхъ **). Намъ изъ этого не видно, понималъ ли онъ, что движенія планетъ поддерживаются согласно съ Первымъ Закономъ Движенія и уклоняются отъ прямой линіи согласно со Вторымъ Закономъ, т. е. зналъ ли онъ эти два главные шага на пути, который привелъ къ открытію настоящихъ силъ, заставляющихъ планеты двигаться по ихъ орбитамъ.

Лейбницъ и другіе [12]). Нельзя сказать, чтобы и въ Германіи математики возвысились до этой точки

*) Cartesianism, въ Enc. Phil

**) Gassendi, *Opera*, v. I. .p 639.



зрѣнія. Лейбницъ, какъ мы видѣли, не соглашался съ воззрѣніями Декарта и не думалъ, что они содержатъ полную истину; однако его собственные взгляды по физической астрономіи были немногимъ лучше ихъ. Въ 1671 г. онъ напечаталъ: «Новую физическую гипотезу, въ которой причины весьма многихъ явленій выводятся изъ извѣстнаго, единственнаго и всеобщаго движенія, предполагаемаго въ нашей Землѣ; котораго не станутъ отвергать ни Тихоніанцы, ни Коперниканцы.» Онъ предполагаетъ, что частички Земли имѣютъ каждая отдѣльное движеніе, которое производитъ столкновенія, а отъ нихъ происходитъ «движеніе эеира», распространяющееся лучеобразно во всѣхъ направленіяхъ (Art. 5); и «вслѣдствіе вращенія солнца около своей оси и прямолинейнаго дѣйствія его на землю происходитъ движеніе земли вокругъ солнца» (Art. 8). Подобнымъ же образомъ онъ объясняетъ и другія движенія въ солнечной системѣ; но трудно согласить такую гипотезу съ какими-нибудь принципами механики.

Иванъ Бернулли удерживалъ до конца картезіанскія гипотезы, хотя со многими своими собственными измѣненіями и даже пытался доказывать ихъ математическими вычисленіями. Однако это уже относится къ дальнѣйшему періоду нашей исторіи, къ распространенію, а не къ приготовленію ньютоновой теоріи.

Борелли. Въ Италіи, Голландіи и Англіи математики усердно занимались проблемой небесныхъ движеній, освѣщенной тѣмъ свѣтомъ, который бросало на нее открытіе истинныхъ законовъ движенія. Въ сочиненіи Борелли: «Теорія Медицейскихъ Планетъ»,

напечатанномъ во Флоренціи въ 1666 г., мы уже встрѣчаемъ разсужденія о свойствахъ центральнаго дѣйствія, въ которыхъ уже начинаютъ появляться вѣрныя понятія. Здѣсь уже говорится о притяженіи, какое оказываетъ одно тѣло на другое, вращающееся вокругъ него, и это притяженіе сравнивается съ магнитнымъ дѣйствіемъ; притягательная сила не смѣшивается съ боковой или тангенціальной, какъ это ошибочно дѣлалъ Кеплеръ, а просто представляется какъ тенденція тѣлъ взаимно сближаться и соединяться. «Очевидно, говоритъ онъ *), что каждая планета и спутникъ вращаются вокругъ своего главнаго небеснаго тѣла, какъ вокругъ источника силы, которая такъ держитъ и ведетъ ихъ, что они никакимъ образомъ не могутъ отдѣлиться отъ него, но побуждаются слѣдовать за нимъ всюду, куда оно идетъ, совершая постоянныя и непрерывная обращенія.» И далѣе онъ описываетъ свойства этого притяженія, конечно только въ видѣ предположенія, но съ замѣчательной отчетливостью **). «Мы можемъ объяснить себѣ эти движенія посредствомъ предположенія, которое нелегко отвергнуть, что планеты имѣютъ извѣстное расположеніе или стремленіе соединиться со своимъ центральнымъ тѣломъ, которое вращаетъ ихъ и что онѣ дѣйствительно всѣми своими силами стремятся приблизиться къ этому тѣлу; планеты, напр., къ солнцу, Медицейскія Звѣзды къ Юпитеру. Извѣстно также, что круговое движеніе тѣла сообщаетъ тѣлу стремленіе удаляться отъ центра этого круга, какъ

*) Cap. 2. **) Ibid. 11, 47.

мы это видимъ во всякомъ колесѣ и въ камнѣ, бросаемомъ метательной машиной. Предположимъ такимъ образомъ, что планета стремится приблизиться къ солнцу, и что она въ тоже время пріобрѣтаетъ вслѣдствіе круговаго движенія силу, отвлекающую ее отъ этого центральнаго тѣла. Тогда, если эти двѣ противоположныя силы равны, то одна изъ нихъ будетъ уравновѣшивать другую и планета такимъ образомъ не будетъ имѣть возможности ни приблизиться больше къ солнцу ни уйти дальше отъ него и будетъ слѣдовательно находиться всегда на извѣстномъ опредѣленномъ разстояніи и, уравновѣшенная такимъ образомъ будетъ вращаться вокругъ него.»

Это весьма замѣчательное мѣсто; но нужно однако замѣтить, что авторъ не имѣлъ отчетливаго представленія о способѣ, какимъ образомъ измѣненіе въ направленіи движенія планеты регулируется отъ одного момента до другаго. Еще менѣе его взгляды могли повести къ возможности вычислить разстояніе отъ центральнаго тѣла, на которомъ планета должна уравновѣситься указаннымъ имъ образомъ, или пространство, на которое она каждое мгновеніе приближается къ центральному тѣлу и удаляется отъ него. Отъ этихъ догадокъ Борелли было еще далеко до теоремы Гюйгенса и еще дальше до открытій Ньютона.

Англія. Намъ особенно интересно прослѣдить постепенное приближеніе къ этимъ открытіямъ англійскихъ математиковъ; и мы можемъ это сдѣлать съ достаточной отчетливостью. Гильбертъ въ своемъ сочиненіи «De Magnete», напечатанномъ въ 1600 г., высказываетъ нѣсколько неопредѣленныхъ догадокъ о

томъ, что магнетическая сила земли опредѣляетъ направленіе земной оси, часть ея суточнаго вращенія и обращеніе луны вокругъ солнца *). Онъ умеръ въ 1603 г. и въ его посмертномъ, уже упомянутомъ нами сочиненіи («De Mundo nostro Sublunari Philosophia nova», 1651), мы уже встрѣчаемъ болѣе отчетливыя понятія о притяженіи одного тѣла другимъ **). «Сила, которая исходитъ изъ луны, достигаетъ до земли и подобнымъ же образомъ магнетическая сила земли охватываетъ небесное пространство до луны: обѣ силы сообщаются своимъ соединеннымъ дѣйствіемъ, согласно пропорціи и соотвѣтствію движеній: но земля имѣетъ больше силы вслѣдствіе своей большей массы; земля притягиваетъ и отталкиваетъ луну; тоже дѣлаетъ въ извѣстной степени относительно земли и луна. Но вслѣдствіе этого оба эти небесныя тѣла не соединяются вмѣстѣ, какъ это бываетъ съ магнитными тѣлами, а могутъ постоянно продолжать свое движеніе.» Хотя эти выраженія и даютъ смыслъ, заключающій въ себѣ значительную долю истины, однако едвали они въ умѣ автора соединялись съ какими-нибудь опредѣленными понятіями о механическихъ движеніяхъ.

Тоже самое можно сказать и о слѣдующихъ выраженіяхъ Мильтона:

.......Не есть ли солнце
Центръ вселенной; и другія звѣзды,
Возбуждаемыя его притягательной силой и своею,
Танцуютъ вокругъ него въ различныхъ кругахъ?

Потерян. Рай. Кн. VII.

---

*) Lib. VI, cap. 6, 7. **) Ibid. II, c. 19.



Бойль около того же времени, кажется, склонялся къ картезіанскимъ гипотезамъ. Чтобы показать преимущества естественной теологіи, занимающейся органическими дѣйствіями природы, надъ той, которая занимается предметами астрономіи, онъ замѣчаетъ: «можно сказать, что въ неодушевленныхъ тѣлахъ *) эти дѣйствія выступаютъ не такъ ясно; однако безъ большой невѣроятности можно предположить, что различныя движенія и видоизмѣненія ихъ частей могутъ, послѣ многихъ попытокъ, привести себя и поддерживать въ одномъ изъ тѣхъ круговращеній, которыя Эпикуръ называлъ συστροφαι, а Декартъ — вихрями и которыя если однажды произведены, могутъ поддерживаться долгое время потомъ способомъ, разъясненнымъ Декартомъ.» Однакоже очень вѣроятно, что ни Мильтонъ, ни Бойль не имѣли точныхъ понятій о законахъ механики, также точно, какъ не могли ясно представить математическихъ воззрѣній своихъ лучшихъ современниковъ. Но въ это же время явился цѣлый рядъ естествоиспытателей, которые начали пристальнѣе стучаться въ ту дверь, за которой находится истина, хотя только Ньютону досталась сила отворить ее. Это были основатели Лондонскаго Королевскаго Общества [9]), Вилькинъ, Валлисъ, Сетъ-Вардъ, Вренъ, Гукъ и другіе. Начало ихъ изслѣдованій и связей между собой совпадаетъ со временемъ гражданской войны между королемъ и парламентомъ въ Англіи; и мы ни мало не преувеличимъ ихъ научной ревности и трудолюбія, если скажемъ, что они, принимая участіе въ общихъ умственныхъ броженіяхъ

*) Shaw's, Royle's *Works*, II, 160.

того времени, искали въ тихомъ и мирномъ занятіи наукой успокоенія отъ безпокойствъ и ожесточенной борьбы, возмущавшихъ въ то время покой общества. Въ этомъ состояла польза, которую принесли наукѣ эти раздоры, какъ-бы въ вознагражденіе за тотъ вредъ, который они же принесли ей въ обильномъ количествѣ. Гаскоинъ, изобрѣтатель микрометра, другъ Горрокса, былъ убитъ въ сраженіи при Марстонъ-Мурѣ. Мильборнъ, другой другъ Горрокса, подобно ему занимавшійся исправленіемъ ошибокъ въ астрономическихъ таблицахъ Лансберга, составилъ статьи объ этомъ предметѣ, которыя были потеряны при переходѣ арміи изъ Шотландіи въ Англію въ 1639 г.; въ гражданской войнѣ, послѣдовавшей за этимъ, были разграблены и уничтожены анатомическія коллекціи Гарвея [10]). Вообще многія изъ названныхъ лицъ принимали участіе въ судьбахъ республики, дѣйствуя за нее или противъ нея. Вилькинъ назначенъ былъ Warden of Wadham парламентской коммиссіей, назначенной для преобразованія оксфордскаго университета; и въ 1659 г. былъ назначенъ начальникомъ Trinity College въ Кембриджѣ по распоряженію Ричарда Кромвеля, но въ слѣдующемъ году лишенъ этого мѣста реставрированною королевской властью. Сетъ Вардъ, бывшій fellow въ Sidney College въ Кембриджѣ, лишенъ былъ этого мѣста парламентской коммиссіей; но впослѣдствіи (1649), онъ дѣятельно принялъ сторону республиканцевъ и сдѣланъ былъ савиліанскимъ профессоромъ астрономіи въ Оксфордѣ. Валлисъ былъ fellow королевской коллегіи въ Кембриджѣ, но долженъ былъ оставить это мѣсто вслѣдствіе

вступленія въ бракъ. Впослѣдствіи времени королевская партія употребляла его для дешифрированія секретныхъ бумагъ, — въ чемъ онъ былъ весьма искусенъ. Однако парламентская коммиссія назначила его савиліанскимъ профессоромъ геометріи въ Оксфордѣ; въ этомъ званіи онъ былъ утвержденъ и Карломъ II послѣ его реставраціи. Вренъ жилъ нѣсколько позже и потому не испытывалъ подобныхъ превратностей. Онъ былъ выбранъ fellow въ All-Souls въ 1652 г. и послѣ Варда сдѣланъ былъ савиліанскимъ профессоромъ астрономіи. Эти ученые вмѣстѣ съ Бойлемъ и многими другими образовали изъ себя клубъ, который они называли философскимъ, или невидимой коллегіей; они собирались около 1645 г. иногда въ Лондонѣ, иногда въ Оксфордѣ, смотря по обстоятельствамъ и по мѣсту жительства членовъ. Гукъ получилъ мѣсто при коллегіи Christ Church въ Оксфордѣ въ 1653 г., гдѣ его приняли подъ свое покровительство Бойль, Вардъ и Валлисъ; и когда потомъ, послѣ реставраціи, философская коллегія перенесла свои собранія въ Лондонъ подъ именемъ королевскаго общества наукъ, Гукъ былъ сдѣланъ при ней «кураторомъ экспериментовъ». Галлей принадлежалъ уже къ послѣдующему поколѣнію и слѣдовалъ за Ньютономъ. Онъ учился въ королевской академіи въ Оксфордѣ, въ 1673 г., и такъ какъ онъ былъ человѣкъ богатый, то и не принималъ на себя никакихъ общественныхъ обязанностей. Однако его талантъ и его усердіе сдѣлали его ревностнымъ и успѣшнымъ дѣятелемъ на поприщѣ науки.

Личныя сношенія и связи между этими людьми

потому имѣютъ отношеніе къ нашему предмету, что они повели за собой, выражаясь исторически, обнародованіе открытій Ньютона по физической астрономіи. Правильно поставить проблему, — это уже значитъ сдѣлать немаловажный шагъ къ ея разрѣшенію, и безъ сомнѣнія это уже былъ большой шагъ впередъ къ вѣрной теоріи вселенной, когда на движенія планетъ вокругъ солнца стали смотрѣть какъ на вопросъ механики, который слѣдуетъ разрѣшать посредствомъ механическихъ законовъ движенія и при помощи математики. А это уже понимали англійскіе математики еще до Ньютона. И въ самомъ дѣлѣ, Гукъ, когда обнародована была теорія тяготѣнія, утверждалъ, что онъ открылъ ее еще раньше Ньютона; и хотя эта претензія его была неосновательна, однако вѣрно, что онъ понималъ хорошо, что вся сущность вопроса сводится къ тому, чтобы опредѣлить дѣйствіе центральныхъ силъ, когда онѣ производятъ криволинейныя движенія; а это дѣйствіе, какъ мы уже видѣли, онъ объясняетъ посредствомъ опыта, сдѣланнаго имъ еще въ 1666 г. Еще яснѣе говоритъ Гукъ объ этомъ предметѣ въ своемъ сочиненіи: «Попытка доказать наблюденіями Движеніе Земли», напечатанномъ въ 1674 г. Здѣсь онъ опредѣленно утверждаетъ, что планеты двигались бы по прямымъ линіямъ, еслибы не отклонялись отъ нихъ дѣйствіемъ центральныхъ силъ; и что притягательная сила центральнаго тѣла дѣйствуетъ сильнѣе въ мѣстахъ ближайшихъ къ центру и усиленіе ея возрастаетъ по мѣрѣ приближенія къ центру въ извѣстной пропорціи, зависящей отъ разстоянія даннаго мѣста

отъ центра силы. «Какова эта пропорція, прибавляетъ онъ, я не могъ опредѣлить этого опытнымъ путемъ;» но затѣмъ онъ увѣряетъ, что тотъ, кому удастся это опредѣленіе, откроетъ истинную причину небесныхъ движеній. Въ разговорѣ съ Галлеемъ и Вреномъ онъ утверждалъ, что онъ самъ разрѣшилъ эту проблему; но однако онъ не представилъ этого рѣшенія. Впрочемъ положеніе, что притягательная сила солнца ослабѣваетъ обратно-пропорціонально квадрату разстояній отъ центра, уже въ то время было предугадываемо, если еще не вполнѣ установлено. Еслибы орбиты планетъ были кругами правильными, то эта пропорція могла бы быть выведена точно такимъ же сиособомъ, какимъ найдены другія положенія относительно круговаго движенія, которыя обнародовалъ Гюйгенсъ въ 1673 г. Однако Гюйгенсъ не сдѣлалъ этого приложенія своего принципа къ планетамъ. Ньютонъ за нѣсколько лѣтъ до этого уже сдѣлалъ этотъ шагъ впередъ. Поэтому въ своемъ письмѣ къ Галлею, по поводу заявленнаго Гукомъ притязанія на это открытіе *), онъ говоритъ: «Когда Гюйгенсъ издалъ свой «Horologium Oscillatorium», онъ прислалъ мнѣ экземпляръ этого сочиненія; и въ моемъ благодарственномъ письмѣ по этому случаю я особенно указывалъ на большую пользу, которую могутъ принести высказанныя имъ положенія при опредѣленіи дѣйствія земли на луну и солнца на землю.» Далѣе онъ говоритъ еще: «Я убѣжденъ, что сэръ Христофоръ Вренъ, когда я посѣщалъ его, уже зналъ объ обратной пропорціональ-

*) «Biogr. Brit.» статья «Hooke.»

ности квадрата разстояній; и такимъ образомъ Гукъ своимъ сочиненіемъ «Cometa» показалъ, что изъ насъ троихъ онъ послѣдній узналъ эту пропорціональность.» «Cometa» Гука явилась въ 1678 г. Всѣ эти заключенія указанныхъ ученыхъ находятся въ связи съ закономъ Кеплера, по которому времена обращенія планетъ относятся между собой какъ кубы большихъ осей ихъ орбитъ. Но Галлей до обратной пропорціональности квадрата разстояній дошелъ другимъ путемъ; именно, онъ представлялъ силу солнца, какъ истеченіе изъ него, которое должно становиться тѣмъ слабѣе, чѣмъ больше возрастаетъ сферическая поверхность, на которую оно разливается, и такимъ образомъ—ослабѣвать пропорціонально квадрату разстояній *). Но при такомъ воззрѣніи на предметъ, трудность состояла въ томъ, чтобы опредѣлить, каково должно быть движеніе тѣла, находящагося подъ дѣйствіемъ такой силы, если орбита его не есть совершенный кругъ, а эллипсисъ. Изслѣдованіе такого случая было проблемой, которая, какъ мы можемъ легко догадаться, казалась страшно сложной и единственной въ своемъ родѣ, пока она не была разрѣшена. Поэтому Галлей, какъ разсказываетъ его біографъ, «отчаявшись разрѣшить проблему геометрическимъ путемъ, обратился сначала къ Гуку и сэру Христофору Врену, и не получивъ никакихъ указаній ни отъ одного изъ нихъ, отправился

*) Булліальдъ въ 1645 г. утверждалъ, что сила, посредствомъ которой солнце держитъ и тянетъ планеты, должна быть обратно пропорціональна квадрату разстояній. Но, очевидно, это было только предположеніе, котораго онъ не могъ доказать.



въ августѣ 1684 г. въ Кембриджъ къ Ньютону, который вполнѣ далъ ему все, чего онъ такъ горячо искалъ.»

Мемуаръ Галлея въ «Philosophical Transactions», за январь 1686 г., былъ какъ будто нарочно напечатанъ для того, чтобы служить приготовленіемъ къ сочиненію Ньютона; онъ содержитъ въ себѣ нѣсколько аргументовъ противъ картезіанской гипотезы тяготѣнія; изъ него же видно, что въ то время картезіанскія воззрѣнія имѣли еще много приверженцевъ между англійскими учеными. Также Уистонъ, преемникъ Ньютона въ его профессорствѣ въ Кембриджѣ, разсказываетъ, что картезіанизмъ составлялъ часть преподаванія въ этомъ университетѣ. Въ самомъ дѣлѣ физика Рого употреблялась въ этомъ университетѣ какъ классическая книга долго послѣ того времени, о которомъ мы говоримъ; но отдѣльныя картезіанскія воззрѣнія, содержащіяся въ ней, были скоро замѣнены другими.

Такимъ образомъ изъ исторіи открытія той истины, что сила солнца дѣйствуетъ обратно пропорціонально квадрату разстояній, мы видимъ, что и многія другія лица въ одно время съ Ньютономъ были не далеки отъ этого открытія; но онъ одинъ обладалъ счастливымъ соединеніемъ ясности мысли съ геніемъ математической изобрѣтательности, которыя дали ему возможность преодолѣть трудности, лежавшія на пути къ истинѣ. Но другіе ученые пришли къ тому же результату другимъ путемъ мысли, даже, сколько мы знаемъ, болѣе короткимъ; и только вслѣдствіе согласія и совпаденія этихъ двухъ способовъ умозаключеній результатъ ихъ дѣйствуетъ на человѣческій умъ съ

непреодолимой силой. Я разумѣю здѣсь открытіе Ньютона, состоящее въ томъ, что онъ отожествилъ силу, которая удерживаетъ луну въ ея орбитѣ, съ силой тяготѣнія, посредствомъ которой тѣла падаютъ на поверхности земли. Въ этомъ отношеніи, какъ мнѣ кажется, еще до сихъ поръ никто не могъ сравняться съ Ньютономъ. Такимъ образомъ мы здѣсь достигли точки, съ которой начинается исторія великихъ открытій Ньютона.

(ПРИЛОЖЕНІЕ КЪ ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНІЮ).

Древніе.

У древнихъ писателей встрѣчаются выраженія, которыя могутъ быть истолкованы въ томъ смыслѣ, будтобы въ нихъ выражается представленіе о тяготѣніи въ смыслѣ Ньютона. Но эти представленія были въ высшей степени темны, неопредѣленны и слишкомъ частны. Я уже упоминалъ (кн. I, гл. III) объ одномъ авторѣ, который воображалъ, будтобы онъ нашелъ въ сочиненіяхъ древнѣйшихъ писателей слѣды и начала самыхъ замѣчательныхъ новѣйшихъ открытій. Но придавать большую важность подобнымъ неопредѣленнымъ выраженіямъ у древнихъ значило бы извращать и представлять въ ложномъ свѣтѣ дѣйствительный прогрессъ науки. Однако послѣдователи Ньютона особенно выставляли на видъ отрывки изъ древнихъ писателей, въ которыхъ находятся эти выраженія, и

самъ Ньютонъ любилъ приводить эти выраженія вѣроятно потому, что этимъ надѣялся ослабить до нѣкоторой степени то нерасположеніе, которое, какъ ему казалось, возбуждаютъ къ себѣ новыя открытія. Свое предисловіе къ «Principia» онъ начинаетъ ссылкой на авторитетъ древнихъ и новыхъ писателей въ подтвержденіе того, что механика можетъ имѣть приложеніе въ философіи природы *). Въ предисловіи къ «Astronomiae physicae et geometricae elementa» Давида Грегори, напечатанной въ 1702 г., приведенъ длинный рядъ именъ древнихъ писателей и выдержекъ изъ нихъ, съ тѣмъ чтобы доказать, что ученіе о тяготѣніи небесныхъ тѣлъ существовало и даже очень распространено было въ древности. И кажется эта коллекція древнихъ авторитетовъ была доставлена Грегори самимъ Ньютономъ. Профессоръ Риго, въ своемъ «Historical Essay on the First Publication of Sir Isaac Newton's Principia» (стр. 80 и 101), говоритъ, что, занимаясь разсматриваніемъ бумагъ, оставшихся послѣ Грегори, онъ нашелъ, что мѣста изъ древнихъ, приведенныя въ предисловіи къ его астрономіи, списаны или сокращены съ собственноручныхъ замѣтокъ Ньютона, данныхъ ему. Одно изъ болѣе любопытныхъ мѣстъ заимствовано изъ разговоровъ Плутарха о фазахъ, являющихся намъ въ дискѣ луны; въ этомъ

*) Cum veteres *Mechanicam* (uti auctor est Pappus) in rerum Naturalium investigatione, maximi fecerint et recentiores, missis formis substantialibus et qualitatibus occultis, Phaenomena Naturae ad leges mathematicas revocare agressa sunt; visum est in hoc Tractatu Mathesin excolere quatenus ea ad Philosophiam spectat.

мѣстѣ одинъ изъ разговаривающихъ говоритъ, что луна удерживается отъ паденія на землю можетъ быть только быстротой ея круговаго обращенія, подобно тому, какъ камень, вертящійся въ бросательной машинѣ постоянно держитъ ее въ напряженіи. Приведено также мѣсто изъ Лукреція, который будтобы училъ, что всѣ тѣла падаютъ съ равной скоростью въ пустотѣ:

Omnia quapropter debent per inane quictum
Aeque ponderibus non aequis concita ferri.
Lib. II, p. 238.

Въ предисловіи Грегори говорится также, будто Пиѳагору извѣстенъ былъ важный законъ тяжести, дѣйствующій обратно-пропорціонально квадрату разстояній отъ центра, и въ доказательство указывается на то, что Пиѳагоръ подъ 7 струнами на лирѣ Аполлона разумѣлъ 7 планетъ; а тоны этихъ 7 струнъ относятся между собой обратно пропорціонально Тяжестямъ, которыя ихъ натягиваютъ.

Въ настоящемъ моемъ сочиненіи я старался слѣдить за постепеннымъ прогрессомъ открытія великихъ истинъ, составляющихъ науку, болѣе точнымъ образомъ, а не такъ, какъ это дѣлалось въ приведенныхъ мной толкованіяхъ выраженій древнихъ писателей.

Іеремія Горроксъ.

Описывая періодъ, предшествовавшій эпохѣ Ньютона, я сказалъ о цѣломъ рядѣ естествоиспытателей, которые въ первой половинѣ XVII столѣтія начали сту-

чаться въ дверь, за которой находится истина, хотя только Ньютону досталась сила отворить ее; и тамъ же показалъ вліяніе, какое имѣли гражданскія войны на прогрессъ ученыхъ изслѣдованій. Къ ученымъ, которые такимъ образомъ старались создать вѣрную, основанную на чисто физическихъ законахъ, теорію солнечной системы, я долженъ причислить еще Іеремію Горрокса, о которомъ я уже упоминалъ въ I томѣ (кн. V, гл. 5), какъ объ одномъ изъ самыхъ раннихъ почитателей Кеплера, принявшихъ его открытія. Онъ умеръ въ ранней юности 22 лѣтъ. Онъ первый изъ всѣхъ наблюдателей видалъ прохожденіе Венеры чрезъ дискъ солнца, согласно астрономическимъ предсказаніямъ, случившееся въ 1639 г. Его «Venus in Sole visa», въ которой онъ описалъ это явленіе, явилась только въ 1661 г. и была напечатана Гевеліусомъ въ Данцигѣ. Многія изъ его ученыхъ бумагъ были расхищены и уничтожены солдатами во время англійскихъ гражданскихъ войнъ. Оставшіяся послѣ него сочиненія были напечатаны Валлисомъ въ 1673 г. Мѣсто, на которое я хочу здѣсь обратить вниманіе, находится въ письмѣ къ его ученому другу Вильяму Крабтри, помѣченномъ 1638 г. Вѣроятно этотъ другъ спрашивалъ у него, какія могутъ быть причины движенія афелій планетъ; въ отвѣтъ на это Горроксъ приводитъ наглядное опытное объясненіе, которое впослѣдствіи употребилъ Гукъ въ 1666 г., именно шаръ, привязанный къ концу веревки, который заставляютъ качаться такъ, чтобы онъ описывалъ овалъ или эллипсисъ. Такой опытъ Гукъ употреблялъ для того, чтобы показать, какимъ образомъ отъ соедине-

нія боковаго или горизонтальнаго движенія съ дѣйствіемъ центральной силы можетъ произойти круговое движеніе въ такой формѣ, какую представляетъ движеніе планетъ по орбитамъ. Но ось эллипсиса не находится постоянно въ одномъ и томъ же положеніи; и апсиды, какъ замѣтилъ Горроксъ, движутся въ такомъ же направленіи и такой же формѣ, какъ маятникъ, только гораздо медленнѣе. И дѣйствительно этотъ опытъ въ общей формѣ объясняетъ причину движенія афелій планетныхъ орбитъ, хотя форма орбиты въ этомъ опытѣ отлична отъ планетныхъ орбитъ: въ опытѣ орбита есть эллипсисъ, въ которомъ центральная сила находится въ центрѣ эллипсиса, тогда какъ планетныя орбиты суть эллипсисы, въ которыхъ центральная сила находится въ фокусѣ эллипсиса. Въ каждой изъ этихъ двухъ формъ дѣйствіе центральной силы различно: въ первой формѣ центральная сила измѣняется обратно-пропорціонально прямо разстояніямъ, а во второй — обратно пропорціонально квадратамъ разстояній, какъ доказалъ Ньютонъ въ «Principia». Но объяснительный опытъ Горрокса всетаки показываетъ, что онъ очень ясно понималъ, какимъ образомъ происходитъ отъ центральной силы форма орбиты. Въ такомъ видѣ понимали дѣло современники Ньютона и не шли далѣе, и только Ньютонъ показалъ имъ, каковъ законъ дѣйствія центральной силы и какихъ обширныхъ истинъ можно достигнуть при помощи этого закона.

ГЛАВА II.

Индуктивная эпоха Ньютона [10]. Открытіе Всеобщаго Тяготѣнія матеріи, дѣйствующаго по закону обратной пропорціональности квадратамъ разстояній.

Для того, чтобы яснѣе обозрѣть все относящееся къ этому величайшему открытію, какое когда-либо было сдѣлано, мы должны разложить его на отдѣльныя положенія, изъ которыхъ оно состоитъ. Такихъ положеній можно насчитать пять. Именно, ученіе о Всеобщемъ Тяготѣніи утверждаетъ:

1) Что сила, которою *различныя* планеты притягиваются солнцемъ, дѣйствуетъ обратно пропорціонально квадратамъ разстояній этихъ планетъ отъ солнца;

2) Что сила, съ которою притягивается солнцемъ одна и та же планета въ различныхъ пунктахъ ея орбиты, также обратно пропорціональна квадратамъ разстоянія ея отъ солнца;

3) Что *земля* также дѣйствуетъ такой же силой



на луну и что эта сила тожественна съ силой тяжести;

4) Что небесныя тѣла дѣйствуютъ такимъ же образомъ и на другія тѣла кромѣ тѣхъ, которыя вращаются вокругъ нихъ; что, значитъ, солнце дѣйствуетъ этой же силой и на луну и на другихъ планетныхъ спутниковъ и что вообще планеты дѣйствуютъ этой же силою одна на другую;

5) Что эта сила, обнаруживаемая общей массой солнца, земли и планетъ, происходитъ отъ притяженія свойственнаго каждой частичкѣ этихъ массъ; это притяженіе дѣйствуетъ по указанному закону и вообще свойственно всей матеріи.

Мы теперь и изложимъ по порядку исторію открытія этихъ пяти истинъ.

1. Сила Солнца на Различныхъ Планетахъ.

Первое изъ указанныхъ положеній, что различныя планеты притягиваются солнцемъ съ силой обратно пропорціональной квадратамъ ихъ разстояній отъ солнца, можно считать открытымъ еще до Ньютона въ томъ смыслѣ, что многія лица уже считали его истиннымъ или близкимъ къ истинѣ; т. е. они нашли, что еслибы орбиты планетъ были совершенными кругами, то дѣйствіе центральной силы по пропорціи обратно пропорціональной квадратамъ разстояній вытекало бы изъ третьяго закона Кеплера, что времена обращенія планетъ относятся между собою какъ кубы большихъ осей ихъ орбитъ. Теорема Гюйгенса доказала бы это

положеніе объ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній, еслибы была приложена къ закону Кеплера. Вренъ зналъ это положеніе; Гукъ нетолько зналъ его, но еще изъявлялъ претензію на честь открытія его прежде Ньютона; Галлей былъ внутренно убѣжденъ, что онъ былъ недалекъ отъ истины уже прежде чѣмъ посѣтилъ Ньютона. Ньютона извѣстили въ Кембриджѣ, что Гукъ обратился къ Королевскому Обществу съ просьбой оказать ему справедливость въ его притязаніи на честь перваго открытія. И когда потомъ Галлей въ письмѣ къ Ньютону (отъ 29 іюня 1686) написалъ, что ему представили поступокъ Гука въ болѣе дурномъ свѣтѣ, чѣмъ онъ есть на дѣлѣ, то Ньютонъ въ своемъ сочиненіи сдѣлалъ примѣчаніе, въ которомъ упомянулъ объ этихъ своихъ предшественникахъ, съ той цѣлью, какъ выразился онъ, «чтобы положить конецъ спорамъ» *). Это примѣчаніе помѣщено подъ чертой къ четвертому положенію «Principia», въ которомъ разсматривается общій законъ круговыхъ движеній. «Случай 6-го королларія,—говоритъ здѣсь Ньютонъ,—встрѣчается на небесныхъ тѣлахъ, какъ это нашли независимо другъ отъ друга наши земляки Вренъ, Гукъ и Галлей.» Вслѣдъ затѣмъ онъ называетъ Гюйгенса, «который въ своемъ превосходномъ сочиненіи «De Horologio Oscillatorio» сравниваетъ силу тяжести съ центробѣжной силой тѣлъ движущихся кругообразно.»

Два первоначальные шага, которые требовались для этого открытія, состояли въ томъ, чтобы вопервыхъ

*) «Biog. Brit» folio, статья Гукъ.

смотрѣть на движеніе планетъ просто какъ на механическую проблему, и вовторыхъ посредствомъ математическихъ вычисленій разрѣшить эту проблему при помощи третьяго Кеплерова закона, который былъ неоспоримымъ фактомъ. Первый шагъ былъ слѣдствіемъ механическихъ открытій Галилея и его школы, результатомъ твердаго и яснаго положенія, которое они постепенно заняли въ умахъ людей, и наконецъ результатомъ того, что Кеплеръ разрушилъ всѣ старыя понятія о небѣ, какъ твердой сферѣ. Второй математическій шагъ требовалъ не малой математической силы, особенно если принять въ соображеніе, что это былъ первый примѣръ проблемы такого рода и что дифференціальное исчисленіе и вообще высшій анализъ во всѣхъ его формахъ находился въ то время еще въ дѣтствѣ, или лучше сказать въ состояніи зарожденія. И этотъ второй шагъ, хотя онъ былъ самый легкій на пути дедукціи, до Ньютона не былъ сдѣланъ никѣмъ.

2. Сила Солнца въ различныхъ Точкахъ Орбиты одной и той же планеты.

Выведеніе закона силы изъ двухъ законовъ Кеплера относительно эллиптическаго движенія было проблемой совершенно отличной отъ предъидущихъ и гораздо труднѣйшей; и здѣсь также возникалъ споръ о чести перваго разрѣшенія ея. Борелли въ 1660 г. старался, какъ мы видѣли, согласить общую форму планетныхъ орбитъ съ понятіемъ о центральной притягивающей силѣ и для этого принималъ въ разсчетъ

центробѣжную силу. Гукъ въ 1679 г. утверждалъ, что результатомъ закона силы, дѣйствующей обратно пропорціонально квадрату разстояній должна была быть или эллиптическая форма *) земной орбиты, или форма похожая на эллипсисъ. **) Но кажется, что это было просто только одно предположеніе. Галлей разсказываетъ †), что Гукъ въ 1683 г. говорилъ ему, будтобы онъ вывелъ и доказалъ всѣ законы небесныхъ движеній на основаніи силы тяжести, дѣйствующей обратно пропорціонально квадрату разстояній; но когда сэръ Христофоръ Вренъ предложилъ ему 40 шиллинговъ за то, чтобы онъ показалъ ему свои доказательства, то онъ отвѣчалъ, что хотя и имѣетъ такія доказательства, но будетъ хранить ихъ втайнѣ нѣсколько времени для того, чтобы другіе попытались сами найти эти доказательства и, не умѣя найти ихъ, тѣмъ болѣе оцѣнили бы его доказательства, когда онъ ихъ обнародуетъ». Но Галлей справедливо замѣчаетъ, что послѣ обнародованія доказательствъ Ньютона въ его «Principia» подобный резонъ уже не имѣлъ мѣста, и затѣмъ прибавляетъ: «я ему прямо сказалъ, что если онъ не представитъ другаго доказательства, отличнаго отъ доказательства Ньютона, и не обнародуетъ его, то ни я, ни кто другой не повѣритъ его словамъ.»

Ньютонъ соглашается, что указанныя увѣренія Гука въ 1679 г. навели его на мысль заняться изслѣ-

---

*) Newtons «*Letter*», «*Biog. Brit*», Hooke p. 2666.

**) Birch's «*Hist. R. Soc.*» въ біографіи Валлиса.

†) «Enc. Brit.», Hooke p. 2660.

дованіемъ этого пункта теоріи. Его собственное доказательство заключается во II и III отдѣлѣ «Principia». Въ первомъ онъ разсматриваетъ общій законъ центральныхъ силъ, дѣйствующихъ по какой бы то ни было кривой линіи, а затѣмъ примѣнительно къ движенію небесныхъ тѣлъ онъ разсматриваетъ особенный случай, гдѣ сила дѣйствуетъ обратно пропорціонально квадрату разстояній.

Въ этой второй, также какъ и въ первой части его открытія, взяты два пункта: вопервыхъ, — представить движеніе небесныхъ тѣлъ какъ механическую проблему и вовторыхъ,—разрѣшить эту проблему. Борелли и Гукъ разрѣшили первый пунктъ съ отчетливостью и сознательно; но для математическаго разрѣшенія втораго пункта требовалась необыкновенная изобрѣтательная сила.

Ньютона повидимому очень огорчало то, что Гукъ такъ легко говоритъ о рѣшеніи этого втораго пункта; и это побудило его отвергнуть съ нѣкоторой суровостью претензіи Гука и настаивать на своемъ правѣ на честь перваго открытія. Въ письмѣ къ Галлею онъ говоритъ, «что Борелли сдѣлалъ кое-что по этому предмету и однако говорилъ о себѣ скромно, а онъ (Гукъ) не сдѣлалъ ничего и однако говорилъ о себѣ такъ, какъ будтобы онъ уже зналъ и удовлетворительно объяснилъ все, что оставалось еще опредѣлить труднымъ путемъ вычисленій и опытовъ; однако онъ не хотѣлъ взяться за этотъ трудъ, извиняясь тѣмъ, что и безъ того слишкомъ занятъ, между тѣмъ какъ на самомъ дѣлѣ онъ не брался за трудъ только потому, что чувствовалъ свою неспособность, потому что, какъ видно изъ его собственныхъ

словъ, онъ не зналъ, какъ взяться за дѣло. Скажите, не ловко ли это? Математики, которые трудятся, ищутъ, изслѣдуютъ и принимаютъ на себя всякую работу, должны считать себя только простыми счетчиками и вьючными животными; между тѣмъ какъ другой, который ничего не дѣлаетъ, на все изъявляетъ претензію и хочетъ присвоить себѣ всѣ открытія, какъ тѣ, которыя предстоитъ сдѣлать въ будущемъ, такъ и тѣ, которыя сдѣланы до него.» Однако это было написано подъ вліяніемъ недоразумѣнія и потому въ слѣдующемъ письмѣ Ньютонъ говоритъ: «теперь я понимаю, что мнѣ представили дѣло нѣсколько въ иномъ, невѣрномъ свѣтѣ, и очень жалѣю, что я написалъ приписку къ моему послѣднему письму;» эта приписка есть отрывокъ, приведенный выше. Теперь, когда забыты споры и претензіи его противниковъ, мы видимъ, что одному Ньютону безраздѣльно принадлежитъ честь открытія перваго положенія, которое мы разбираемъ. Мы можемъ прибавить, что, въ дополненіи къ III отдѣлу «Principia», онъ вывелъ послѣдствія этого положенія и разрѣшилъ различныя проблемы, вытекающія изъ него, съ своей обыкновенной плодовитостью и прелестью математическаго анализа, и такимъ образомъ показалъ необходимую связь третьяго изъ кеплеровскихъ законовъ съ первымъ и вторымъ *).

*) Нужно однако замѣтить, что Ньютонъ, конечно, первый доказалъ, что если описываемая вокругъ солнца планетой кривая есть коническое сѣченіе, то сила солнца обратно пропорціональна квадрату разстояній; но обратный вопросъ,—если центральная сила обратно пропорціональна квадрату разстоянія, то описываемая кривая долж-

3. Тяготѣніе Луны къ Землѣ.

Хотя другіе еще прежде Ньютона думали, что космическія силы управляются общими законами движенія, однако не видно, чтобы они отожествляли эти силы съ силой земной тяжести. Объ этомъ шагѣ въ открытіи Ньютона больше всего говорили поверхностные мыслители и ему сообщенъ нѣкотораго рода ложный интересъ разсказомъ о томъ, что онъ наведенъ былъ на мысль о всеобщемъ тяготѣніи упавшимъ яблокомъ. Поверхностное представленіе большинства увлеклось этимъ случаемъ, которому сообщенъ анекдотическій характеръ и придана такая важность тѣмъ, что онъ будтобы повелъ за собой большія послѣдствія; этому же содѣйствовалъ и красивый контрастъ между глубочайшей теоріей и ежедневнымъ самымъ обыкновеннымъ случаемъ, который будтобы навелъ мыслителя на эту теорію. Мы сейчасъ увидимъ, какъ несообразно это представленіе съ дѣйствительностью. Разсказъ о томъ, какъ развивались прогрессивно мысли Ньютона, находится у Пембертона (который слышалъ его отъ самого Ньютона), въ предисловіи къ его сочиненію «View of Newton's Philosophy» и у

на быть коническимъ сѣченіемъ,—не рѣшенъ, и онъ вообще труднѣе перваго, такъ какъ для рѣшенія его нужно интегральное исчисленіе, между тѣмъ какъ для рѣшенія перваго вопроса достаточно и дифференціальнаго. Но интегральное вычисленіе въ началѣ его разработывалось преимущественно нѣмецкими математиками Лейбницемъ и Бернулли, изъ которыхъ послѣдній и рѣшилъ въ первый разъ указанную проблему въ обратномъ видѣ. (Литтровъ).



Вольтера, который слышалъ его отъ племянницы Ньютона Кондюитъ *). «Первыя мысли,—говорится въ этихъ разсказахъ,—которыя подали поводъ къ сочиненію его «Principia», пришли Ньютону въ то время, когда онъ въ 1666 г. удалился изъ Кембриджа, по поводу появившейся тамъ заразы, въ деревню (ему было тогда 24 года). Когда онъ здѣсь одинъ гулялъ по саду, ему пришли въ голову разныя соображенія о силѣ тяжести. Такъ какъ эта сила не уменьшается замѣтно на самыхъ далекихъ разстояніяхъ отъ центра земли, какихъ только мы можемъ достигнуть, — ни на верхушкахъ высочайшихъ строеній, ни на вершинахъ высочайшихъ горъ,—то ему показалось совершенно естественнымъ предположить, что дѣйствіе этой силы простирается гораздо дальше, чѣмъ это обыкновенно думаютъ: можетъ быть даже оно простирается до луны, подумалъ онъ, и если такъ, то можетъ-быть оно вліяетъ на движеніе луны, а можетъ быть даже и самыя эти движенія луны по ея орбитѣ суть ничто иное какъ дѣйствія той же самой силы.»

Идея о космическомъ тяготѣніи представлялась ему такимъ образомъ отчетливо и ясно: и величіе Ньютона заключается здѣсь въ томъ, что онъ совершенно ясно понялъ, что небесныя движенія тожественны съ тѣми движеніями, которыя совершаются вокругъ него на землѣ; что эти два рода движенія онъ представлялъ движеніями совершенно однородными и потому немедленно и совершенно сознательно старался примѣ-

*) Voltaire, «*Elemens de philos. de Newton*», 3 partie, Ch. III.

нить одни и тѣ же законы какъ къ тѣмъ, такъ и другимъ движеніямъ. Но эта идея въ такомъ видѣ была все-еще только догадкой, которая свидѣтельствовала только о внутренней дѣятельности мышленія. Чтобы дать ей научное значеніе, для этого требовалось нѣчто большее чѣмъ простое «можетъ быть». По этому Ньютонъ послѣ «можетъ быть» тотчасъ задалъ себѣ вопросъ: «а если такъ, то что тогда?» Его умозаключенія конечно шли такимъ путемъ: если земная тяжесть достигаетъ до луны, то вѣроятно эта тяжесть такого же рода, какъ и центральная сила солнца, и подчинена тому же закону относительно разстоянія. А каковъ этотъ законъ? Мы уже видѣли, что, если принять въ основаніе законы Ньютона и предположить, что орбиты планетъ суть правильные круги, то законъ силы есть обратная пропорціональность квадрату разстояній; и этотъ законъ, принятый предшественниками Ньютона какъ предположеніе, былъ еще до Ньютона доказанъ неопровержимыми основаніями; и такимъ образомъ все было приготовлено къ тому, чтобы онъ продолжалъ рядъ своихъ умозаключеній. И продолжая его, онъ думалъ: если тяжесть земли простирается до луны и при этомъ ослабѣваетъ пропорціонально квадрату разстояній, то будетъ ли эта сила вблизи лунной орбиты настолько еще сильна, чтобы держать луну на ея орбитѣ? Здѣсь снова требовалось вычисленіе, и вычисленіе въ высшей степени важное; потому что, въ самомъ дѣлѣ, что̀ можетъ быть важнѣе и рѣшительнѣе того приговора, который выйдетъ въ результатѣ вычисленій? По вычисленіямъ Ньютона, сдѣланнымъ въ то время, луна въ своемъ движеніи по орбитѣ укло-

няется отъ касательной орбиты въ каждую минуту на разстояніе 13 футовъ. А между тѣмъ если принять во вниманіе пространство, которое проходятъ въ минуту тѣла, падающія на поверхности земли, и уменьшить его въ той пропорціи, какъ требовалъ законъ обратной пропорціональности квадратовъ разстояній, то окажется въ результатѣ, что тяжесть земли дѣйствующая на орбитѣ луны должна заставлять падать луну въ каждую секунду болѣе чѣмъ на 15 футовъ. Эта разница кажется небольшой, приблизительное согласіе между результатами двухъ вычисленій представляется столь заманчивымъ и самая гипотеза столь вѣроятной, и человѣкъ, который имѣлъ бы хоть малѣйшее пристрастіе къ своимъ догадкамъ, открылъ бы или постарался найти какую-нибудь вѣроятную причину этой разницы. Но Ньютонъ видѣлъ въ этой разницѣ опроверженіе своей гипотезы и «на долгое время отложилъ въ сторону дальнѣйшее изслѣдованіе этого предмета». Онъ отказался отъ своей любимой идеи съ той же искренностью и прямотой, съ какой нѣкогда Кеплеръ отказался отъ своихъ догадокъ, хотя его идея стояла на почвѣ болѣе твердой и основательной, чѣмъ фантазіи Кеплера; и, сколько мы знаемъ, онъ не испытывалъ при этомъ случаѣ борьбы и сожалѣнія, какъ Кеплеръ. Но это не была холодность или равнодушіе къ своимъ идеямъ и Ньютонъ, хотя и отложилъ въ сторону свою идею, однако не окончательно осудилъ и оставилъ ее *). Въ 1679 г. когда Гукъ

---

*) Можетъ быть нѣкоторымъ читателямъ будетъ любопытно узнать ближе способъ, какъ Ньютонъ произво-

сталъ спорить съ Ньютономъ относительно формъ кривой, описываемой падающимъ тѣломъ, и увѣрялъ,

---

дилъ эти свои важныя изслѣдованія.—Изъ сидерическаго времени обращенія луны, состоящаго изъ 27 дней, 7 часовъ, 43 минуты, $11^1/_2$ секундъ, посредствомъ простаго дѣленія находятъ дугу $\alpha = 0.54,788$ секундъ, которую луна проходитъ въ ея среднемъ движеніи въ каждую секунду времени. Если назвать r поперечникъ лунной орбиты, представляемой здѣсь кругомъ, то такъ-называемый синусъ версусъ этой дуги, который мы назовемъ $\varkappa$, представляетъ собою паденіе луны къ землѣ въ продолженіи каждой секунды, и тогда получается $\varkappa = {}^1/_2 r \sin^2\alpha$. Если обозначить теперь U паденіе тѣлъ на поверхности земли впродолженіи секунды и R поперечникъ земли, то получается, если вѣрно предположеніе Ньютона, что сила обратно пропорціональна квадрату разстояній,

$$\frac{U}{\varkappa} = \frac{r^2}{R^2},$$

и такимъ образомъ

$$U = \frac{r^3}{2R^2} \cdot \sin^2\alpha.$$

Изъ опредѣленнаго наблюденіями горизонтальнаго параллакса π луны, состоящаго изъ 57 мин. 9 сек., находится отношеніе обоихъ величинъ r и R

$$\frac{r}{R} = \frac{1}{\sin\pi} = 60,16.$$

Если такимъ образомъ поставимъ въ предшествующее уравненіе вмѣсто r равную ему величину $60,16R$ и вмѣсто α равное ему 0,54788, тогда получимъ, что

$$U = 0.000,000,7681R;$$

и это есть искомое паденіе тѣлъ на поверхности земли втеченіи первой секунды времени. Такимъ образомъ здѣсь

что она должна быть эллипсисомъ, тогда Ньютонъ снова занялся изслѣдованіемъ объ этомъ предметѣ и теперь также пришелъ, хотя и другимъ путемъ, къ тому же закону обратной пропорціональности квадратамъ разстояній. Это естественно обратило его мысли къ его прежнимъ предположеніямъ и идеямъ. Ужели въ самомъ дѣлѣ,—думалъ онъ себѣ,—нѣтъ какой-нибудь возможности объяснить полученную имъ въ вычисленіяхъ разницу и несогласіе съ этимъ закономъ, если предположить, что движеніе луны совершается вслѣдствіе земной тяжести? Ученый трудъ, только-что появившійся въ то время, далъ ему отвѣтъ на этотъ вопросъ. Оказалось, что Ньютонъ въ своихъ прежнихъ вычисленіяхъ ошибался относительно величины земли и слѣдовательно въ опредѣленіи разстоянія луны, которое находится посредствомъ измѣреній, имѣющихъ основаніемъ радіусъ земли. Согласно съ общепринятымъ мнѣніемъ географовъ и моряковъ того времени, онъ полагалъ, что въ одномъ градусѣ широты заключается 16 англ. миль. Но Пикаръ въ

очевидно все дѣло зависитъ отъ правильнаго опредѣленія величины R или поперечника земли. Ньютонъ, вмѣстѣ съ англійскими мореплаватели своего времени, полагалъ величину R почти равною 16,000,000 парижск. фут., и потому послѣднее уравненіе дало ему, что $U = 12.29$ фута, и стало быть 3 фут. меньше. Еслибы онъ предположилъ, что $R = 19{,}609{,}000$ парижск. футовъ, какъ показали послѣдующія измѣренія земли, то онъ тогда нашелъ бы, что $U = 15{,}06$ фута, что весьма близко къ тому результату относительно паденія тѣлъ, который почти за столѣтіе прежде получилъ Галилей изъ наблюденій надъ маятникомъ. (Литтровъ.)

1670 г. измѣрилъ длину опредѣленной части меридіана во Франціи съ величайшей тщательностью, какой только можно было требовать, и это измѣреніе дало возможность Ньютону повторить его прежнее вычисленіе съ этими болѣе вѣрными данными. Можно себѣ представить то нетерпѣливое любопытство, съ которымъ онъ ждалъ результата этихъ новыхъ вычисленій. И оказалось, что его великое предположеніе согласно съ фактами до удивительной степени точности. Истина, до которой онъ дошелъ послѣ долгихъ сомнѣній, согласовалась и со всѣми прочими результатами вычисленій относительно солнечной системы и этимъ сообщила непоколебимую твердость его воззрѣніямъ и воззрѣніямъ всего философствующаго міра.

(2 изд.).—[Робизонъ въ «Mechan. Philosophy», p. 288, говоритъ, что Ньютонъ, сдѣлавшись членомъ Королевскаго Общества, узналъ о точнѣйшемъ измѣреніи земли Пикаромъ, найденныя которымъ цифры весьма разнились отъ цифръ, принятыхъ имъ въ его вычисленіяхъ въ 1666 г. И Біо въ своей біографіи Ньютона, напечатанной въ «Biographie universelle», разсказываетъ: «предполагаютъ, что около іюня мѣсяца въ 1682 г. Ньютонъ былъ въ Лондонѣ и, присутствуя однажды на собраніи Королевскаго Общества, слышалъ, какъ говорили здѣсь о новомъ измѣреніи градуса, недавно произведенномъ во Франціи Пикаромъ, и очень хвалили ту аккуратность и тщательность, съ какой оно было произведено.»

Въ первомъ изданіи я принялъ это предположеніе за фактъ; но Риго доказалъ («Historical Essay on the

First Publication of the Principia», 1838), что измѣреніе Пикара было по всей вѣроятности очень хорошо извѣстно членамъ Королевскаго Общества еще въ 1675 г., потому что отчетъ о результатахъ его былъ напечатанъ въ «Philosophical Transactions» этого года. Ньютонъ открылъ методъ опредѣленія того, какъ тѣло можетъ описывать эллипсисъ, когда на него дѣйствуетъ сила, находящаяся въ фокусѣ и измѣняющаяся пропорціонально квадрату разстояній, вѣроятно въ 1679 г. по поводу своего спора съ Гукомъ. Въ 1684 г., по просьбѣ Галлея, онъ возвратился къ этому предмету и въ февралѣ 1685 г. была напечатана въ указателѣ Королевскаго Общества записка Ньютона: «Isaaci Newtoni Propositiones de Motu», которая заключаетъ въ себѣ нѣсколько главныхъ положеній, составившихъ первыя двѣ книги «Principia». Но эта записка однако не содержитъ еще въ себѣ положенія: «Lunam gravitare in terram», также какъ ни одного изъ положеній, заключающихся въ третьей книгѣ. «Principia» были напечатаны въ 1686 и 1687 гг., вѣроятно на счетъ Галлея. 6 апрѣля 1687 г. третья книга была представлена Королевскому Обществу.]

Сколько мнѣ извѣстно, прежде Ньютона ни одинъ естествоиспытатель не предполагалъ, что земная тяжесть есть та же самая сила, которая производитъ движеніе луны. Конечно, многіе, какъ мы видѣли, представляли себѣ эту силу и даже называли ее тяжестью; но это дѣлалось только для того, чтобы посредствомъ аналогіи объяснить, какого рода эта сила, подобно тому какъ въ другое время сравнивали эту силу съ магнетизмомъ, и при этомъ вовсе не

предполагалось, что земная тяжесть есть сила, которая может дѣйствовать даже въ небесныхъ пространствахъ. Послѣ того, какъ Ньютонъ предположилъ и доказалъ это, терминъ тяжесть, употреблявшійся прежде, сохранился и теперь съ новымъ значеніемъ; но изъ этого вовсе не слѣдуетъ, чтобы до Ньютона извѣстно было это новое значеніе, хотя терминъ существовалъ и до него. Такимъ образомъ напримѣръ многіе могутъ быть введены въ заблужденіе выраженіями Гюйгенса, гдѣ онъ говоритъ *), что Борелли былъ того мнѣнія, что главныя планеты влекутся къ солнцу, а спутники къ главнымъ планетамъ «тяжестью». На дѣлѣ понятіе о земной тяжести, какъ дѣйствительной космической силѣ было чуждо всѣмъ воззрѣніямъ Борелли **). Но Горроксъ, около 1635 г., повидимому, имѣлъ вѣрное представленіе объ этомъ предметѣ; но оно было у него спутано ошибочными представленіями Кеплера о связи, существующей между вращеніемъ центральнаго тѣла и между дѣйствіями его на тѣло, которое вокругъ него обращается. Такимъ образомъ онъ говоритъ †), что истекающая изъ земли сила влечетъ къ землѣ брошенный камень, точно такимъ же образомъ, какъ влечется луна по своей орбитѣ; но только эта сила

---

*) «Cosmotheros», I, 2, p. 720.

**) Я по крайней мѣрѣ не нашелъ ни одного случая, въ которомъ это слово было было бы употреблено въ такомъ значеніи.

†) Astronomia Kepleriana defensa et promota cap. 2, см. также объ этомъ предметѣ въ Приложеніяхъ къ этому тому.

земли дѣйствуетъ на камень гораздо сильнѣе, чѣмъ на луну; потому что камень находится на меньшемъ разстояніи отъ земли, чѣмъ луна.

Положеніе, въ которомъ Ньютонъ высказалъ открытіе, о которомъ мы теперь говоримъ, стоитъ четвертымъ въ III книгѣ «Principia» и формулировано такъ: «Луна тяготѣетъ къ землѣ и силой этого тяготѣнія постоянно уклоняется отъ прямолинейнаго движенія и удерживается на ея орбитѣ.» Доказательство этого положенія состоитъ въ упомянутыхъ его нумерическихъ вычисленіяхъ, изъ которыхъ онъ представляетъ только элементы и указываетъ методъ; но мы должны замѣтить здѣсь, что для этого требовались близкое знакомство съ способами, посредствомъ которыхъ астрономы получили эти элементы, и умѣнье выбрать вѣрнѣйшіе изъ этихъ элементовъ. Напр. среднее разстояніе луны отъ земли Тихо принималъ равнымъ $56^1/_2$ земнымъ діаметрамъ, а Кирхеръ 62. Ньютонъ же принимаетъ 61, и приводитъ для этого свои основательныя причины *).

*) По новѣйшимъ опредѣленіямъ среднее разстояніе луны отъ земли или половина большой оси эллиптической лунной орбиты равна 51,830 географическихъ миль, которыхъ считается 15 въ градусѣ экватора. Большее разстояніе ея составляетъ 54,670, а меньшее 48,990 миль. Такимъ образомъ эксцентрицитетъ ея эллиптической орбиты равенъ 2840 милямъ, т. е. составляетъ 0,0548-ю часть половины большой оси ея орбиты. Истинный діаметръ луны составляетъ 454 мили, или 0,264 земнаго діаметра. Средній видимый поперечникъ луны составляетъ 0°31′7″. Масса ея составляетъ $\frac{1}{87,7}$, а плотность

Терминъ «тяжесть» и выраженіе «тяготѣть» къ чему-нибудь, которые Ньютонъ, какъ мы сейчасъ видѣли, употребилъ только относительно луны, скоро получили гораздо обширнѣйшее значеніе, вслѣдствіе его открытій; но чтобы яснѣе представить расширеніе этого значенія мы должны разсмотрѣть его отдѣльно.

луны есть 0,62 плотности земли, или 3,04 дождевой воды. Діаметръ земнаго экватора съ центра луны представляется подъ угломъ 9°57′1″, если луна находится въ своемъ среднемъ разстояніи отъ земли, и это есть также такъ-называемый параллаксъ луны. Сидерическое время обращенія луны вокругъ земли (сравн. т. I) равняется 27 дней 7 час. 43 мин. 11,5 сек.

Перваго генваря 1801 г. въ Парижѣ въ полдень средняго времени средняя долгота луны равна 118° 17′8.3″, а ея среднее тропическое движеніе 13°10′35.0270112″. Въ тоже время долгота близости лунной орбиты къ землѣ (перигея) равнялась 266°10′7.5″, а долгота восходящаго узла ея орбиты на эклиптикѣ 13°53′17.7″. Обѣ эти точки неба опять подвержены значительнымъ колебаніямъ. Движеніе большой оси лунной орбиты въ 100 юліанскихъ годовъ (принимая каждый годъ въ 365 съ четвертью дней) составляетъ 11 полныхъ оборотовъ и 109°2′46.6″ сидерически съ запада на востокъ. Наклоненіе лунной орбиты къ эклиптикѣ есть 5°8′47.9″, а наклоненіе луннаго экватора къ эклиптикѣ есть 1°28′25″ и это послѣднее наклоненіе неизмѣнно во всѣ времена. О значительныхъ возмущеніяхъ, которыя претерпѣваетъ луна отъ солнца, уже говорилось въ первомъ томѣ. (Литтровъ.)

(3-е изданіе). *Открытіе Ньютономъ тяготѣнія*. Какъ я уже замѣтилъ въ текстѣ, поверхностные люди любятъ воображать, что великія открытія дѣлаются всегда при помощи какихъ-нибудь случайностей и сопровождаются внезапными переворотами въ мысляхъ и сильнымъ потрясеніемъ въ чувствахъ. Ньютона въ 1665 или 1666 г. занимала мысль, что можетъ быть луна удерживается на своей орбитѣ тяготѣніемъ къ землѣ. Онъ возвратился къ этой мысли и разработалъ ее въ цѣлую систему въ 1684 и 1685 г. Естественно раждается вопросъ, что заставило его воротиться къ этой мысли въ другой разъ чрезъ 20 лѣтъ послѣ того, какъ онъ занимался ею въ первый разъ; почему во второй разъ онъ имѣлъ успѣхъ и какой случай тутъ помогъ ему, и наконецъ что онъ долженъ былъ почувствовать, когда его предположеніе оправдалось и онъ сдѣлалъ открытіе? Въ отвѣтъ на эти вопросы легко было придумать какія-нибудь событія или найти воображаемую связь между дѣйствительными событіями. «Своими оптическими открытіями Ньютонъ обратилъ на себя вниманіе Королевскаго Общества и оно сдѣлало его своимъ членомъ. Здѣсь, въ Обществѣ, онъ узналъ о точномъ измѣреніи земли, произведенномъ Пикаромъ, которое дало результаты болѣе вѣрные, чѣмъ тѣ данныя, съ которыми Ньютонъ производилъ свои первыя вычисленія въ 1666 г.; вслѣдствіе этого онъ подумалъ, что можетъ быть теперь его предположеніе окажется справедливымъ» *). Біо согласился съ этой догад-

*) Robison's «*Mechan. Philo.*, vol III, p. 94, Art. 195.

кой *). Англійскій переводчикъ біографіи, написанной Біо, превратилъ эту догадку въ положительное увѣреніе **). Но, говоритъ Риго, измѣреніе земли, сдѣланное Пикаромъ, было очень хорошо извѣстно членамъ Королевскаго Общества еще въ 1675 г.; потому что отчетъ о результатахъ его былъ напечатанъ въ «Philosophical Transactions» за этотъ годъ. Кромѣ того Норвудъ, въ своемъ «Seaman's Practice», относящемся къ 1636 г., уже сообщилъ болѣе точное измѣреніе и опредѣленіе размѣровъ земли, чѣмъ то, какимъ пользовался Ньютонъ при вычисленіяхъ въ 1666 г. Но Норвудъ, говоритъ Вольтеръ, могъ потонуть въ забвеніи среди волненій гражданскихъ войнъ. Не правда, говоритъ тотъ же точный и правдивый Риго, Норвудъ былъ въ сношеніяхъ съ Королевскимъ Обществомъ въ 1667 и 1668 гг. Такимъ образомъ тотъ предполагаемый случай, будтобы яблоко, упавшее предъ Ньютономъ въ 1665 г., породило мысль и систему, развитую въ 1684 г., нельзя относить къ исторіи.

Чтò почувствовалъ Ньютонъ, когда сдѣлалъ свое открытіе? Здѣсь опять мы имѣемъ разсказъ, который есть едвали что-нибудь большее, чѣмъ одно предположеніе или даже выдумка. «Онъ поспѣшилъ домой, вынулъ свои старыя бумаги и повторилъ свои прежнія вычисленія, и когда онъ уже близко подошелъ къ новому результату, съ нимъ случилась такая сильная нервная ажитація, что онъ не могъ работать и про-

*) Biographie Universelle.

**) Library of Useful Knowledge.



силъ пришедшаго друга докончить его вычисленія» *). Эта предполагаемая исторія была названа преданіемъ; но передававшій его выдавалъ его уже за чистую исторію. Каждый, говоритъ Риго, на основаніи собственныхъ понятій о характерѣ Ньютона, долженъ рѣшить, сообразенъ ли этотъ разсказъ съ характеромъ Ньютона. Вѣроятно ли, чтобы Ньютонъ, такой холодный и вообще такой безразличный къ славѣ, какимъ онъ намъ представляется вездѣ въ другихъ случаяхъ, могъ прійти въ такую ажитацію по поводу этого именно случая? «Нѣтъ, говоритъ сэръ Давидъ Брьюстеръ, этотъ разсказъ не сообразенъ со всѣмъ, что мы знаемъ о характерѣ Ньютона» **). Съ этимъ мы вполнѣ согласны, и потому и этотъ предполагаемый случай также не должно смѣшивать съ настоящей исторіей. Я только по неосмотрительности и по неосторожности помѣстилъ его въ первомъ изданіи этого сочиненія.

---

4. Взаимное Притяженіе всѣхъ Небесныхъ Тѣлъ.

Если разсмотрѣнную нами часть открытія тяготѣнія, сравнительно говоря, легко было предположить и трудно доказать, то это еще въ большей мѣрѣ примѣняется къ остальной части этого открытія, о которой намъ предстоитъ говорить, именно о томъ притяженіи, которое испытываютъ планеты и ихъ спутники не-

---

*) Робинзонъ, ibid.

**) Life of Newton, vol p. 292.

только отъ центральныхъ тѣлъ, но и отъ другихъ тѣлъ. Если уже для математическаго вычисленія простаго, ничѣмъ не осложненнаго, дѣйствія центральной силы требовался высокій талантъ; то нуженъ былъ еще высшій талантъ, чтобы побѣдить тѣ трудности, которыя возникали оттого, что нужно было имѣть въ виду разныя постороннія вліянія, которыя нарушали дѣйствіе одной центральной силы и чрезвычайно усложняли первоначальное простое дѣйствіе этой силы. Еслибы эти уклоненія и усложненія, чрезвычайно многочисленныя и сложныя, не были очень малы по своей величинѣ, то уму человѣческому невозможно было бы справиться съ трудностями этой задачи; и мы даже въ настоящее время не можемъ неудивляться той борьбѣ, которую онъ выдержалъ съ этими трудностями.

Предположеніе о томъ, что планеты оказываютъ другъ на друга взаимное дѣйствіе, было высказано Гукомъ въ его «Опытѣ доказательства Движенія Земли» (1674). Изъ его теоріи, говоритъ онъ, слѣдуетъ, что нетолько солнце и луна дѣйствуютъ на ходъ и движеніе земли, но и Меркурій, Венера, Марсъ, Юпитеръ и Сатурнъ своей притягательной силой имѣютъ значительное вліяніе на движеніе земли; и земля подобнымъ же образомъ въ свою очередь сильно дѣйствуетъ на движеніе исчисленныхъ тѣлъ. Борелли, при составленіи своей теоріи Юпитеровскихъ спутниковъ, тоже предполагалъ, хотя не ясно и сбивчиво вѣроятность того, что солнце нарушаетъ чисто эллиптическія движенія этихъ спутниковъ. Такимъ образомъ онъ говоритъ (глава 14): нельзя не думать,

что Медицейскія звѣзды движутся съ большей скоростью, когда онѣ приближаются къ солнцу и такимъ образомъ находятся подъ вліяніемъ двухъ движущихъ силъ, изъ которыхъ одна производитъ ихъ собственное обращеніе вокругъ Юпитера, а другая регулируетъ ихъ движеніе вокругъ солнца. И въ другомъ мѣстѣ (глава 20) онъ старается показать дѣйствіе этого вліянія въ наклоненіи ихъ орбитъ, — что, какъ и слѣдовало ожидать, не удалось ему.

Но самый очевидный случай того, что солнце обнаруживаетъ возмущающее вліяніе на движеніе второстепенныхъ планетъ вокругъ ихъ главныхъ планетъ представляютъ возмущенія въ ихъ движеніяхъ; потому что многія изъ этихъ возмущеній, которыя открыты были еще прежде, всѣ, за исключеніемъ только одного, именно эллиптической аномаліи, очевидно зависятъ отъ положенія солнца. Тѣмъ неменѣе, насколько мнѣ извѣстно, никто до Ньютона не пытался объяснить вліяніемъ солнца этихъ любопытныхъ неправильностей въ движеніи земнаго спутника. Вообще вычисленіе неправильностей, происходящихъ отъ возмущающей силы, считалось во всѣ предшествующіе періоды проблемой, разрѣшеніе которой выше человѣческихъ силъ.

Ньютонъ сдѣлалъ этотъ шагъ: онъ доказалъ, что существуютъ такія возмущающія силы, и большей частью даже вычислилъ дѣйствіе ихъ. Эта мысль его основана на механическихъ принципахъ; и въ 6 теоремѣ III книги «Principia» онъ показалъ, что луна также притягивается солнцемъ какъ и земля, что спутники Юпитера и Сатурна, какъ и ихъ главныя

планеты, тоже притягиваются солнцемъ. Еслибы это было не такъ, то всѣ эти спутники, какъ показываетъ онъ далѣе, не могли бы правильнымъ образомъ совершать свое обращеніе вокругъ своихъ главныхъ планетъ и сопровождать ихъ въ ихъ обращеніи вокругъ солнца. Всѣ эти тѣла на равныхъ разстояніяхъ отъ солнца притягивались бы имъ съ равной силой.

Нечего и говорить, какъ сложны и запутанны были задачи, состоявшія въ примѣненіи этого принципа ко всѣмъ тѣламъ солнечной системы. Спутники и ихъ главныя планеты хотя и имѣютъ почти одинаковыя разстоянія и почти одинаковое направленіе своихъ движеній, но не совершенно одинаковыя. Кромѣ того разница въ ихъ разстояніяхъ и направленіи постоянно измѣняется и, если движеніе спутниковъ чисто эллиптическое, то измѣненія его возвращаются періодически съ каждымъ новымъ оборотомъ его; но возмущенія, которыя испытываютъ эти эллиптическія движенія отъ вліянія солнца, зависятъ отъ положенія солнца относительно главныхъ планетъ и потому будутъ повторяться въ весьма продолжительные и сложные періоды, зависящіе отъ этихъ измѣненій. Есть еще причина, которая еще болѣе запутываетъ задачу: при постоянномъ дѣйствіи силы, эффектъ происходящій въ извѣстный моментъ видоизмѣняетъ и усложняетъ эффекты послѣдующихъ моментовъ и такъ какъ отдѣльные члены рядовъ этихъ эффектовъ, дѣйствующихъ въ каждое мгновеніе, слѣдуютъ весьма сложнымъ правиламъ, то сумма всѣхъ такихъ рядовъ, какъ можно себѣ представить, будетъ представлять такую

сложность, что ее трудно будетъ привести до нѣкоторой удобной для изслѣдованія простоты.

Никто до Ньютона не могъ взяться за эту проблему, или лучше за рядъ проблемъ. Даже спустя цѣлыхъ 60 лѣтъ послѣ обнародованія его «Principia» и даже до настоящаго времени никто, при помощи уже открытыхъ Ньютономъ методовъ, не сдѣлалъ никакого значительнаго прибавленія къ его выводамъ. Мы знаемъ, что онъ вычислилъ всѣ главнѣйшія неравенства или возмущенія луны; относительно многихъ изъ нихъ онъ показалъ употребленный имъ методъ, а относительно другихъ представилъ только свои результаты. И кто послѣ него, на основаніи его прекраснаго геометрическаго метода и его простыхъ принциповъ, объяснилъ хоть одно неравенство, котораго онъ некоснулся? Тяжеловѣсный инструментъ синтеза, который въ его рукахъ былъ столь силенъ и плодотворенъ, съ тѣхъ поръ ни кѣмъ не употреблялся съ успѣхомъ для такой же цѣли; и мы съ удивленіемъ и любопытствомъ смотримъ на этотъ инструментъ, какъ на какое-то исполинское орудіе, которое стоитъ безъ употребленія между памятниками древности, и съ удивленіемъ спрашиваемъ, что это былъ за человѣкъ, который могъ владѣть этимъ орудіемъ до того тяжелымъ, что мы едва можемъ поднять его *).

*) Не подлежитъ однако сомнѣнію, какъ замѣтилъ Лапласъ въ своемъ «Exposition du système du monde», что Ньютонъ большую часть своихъ астрономическихъ открытій нашелъ болѣе легкимъ аналитическимъ путемъ и что онъ уже потомъ облекалъ ихъ въ одежду синтеза изъ пристрастія къ любимой манерѣ древнихъ греческихъ

Намъ нѣтъ надобности указывать подробно на остроуміе и искусство, которыми отличается эта часть «Principia». Способъ, какимъ образомъ авторъ объяснилъ дѣйствіемъ возмущающей силы движеніе апсидъ эллиптической лунной орбиты (9 отдѣленіе I книги), всегда возбуждалъ удивленіе своей геніальностью и изяществомъ. Общее описаніе возмущеній, производимыхъ солнцемъ въ движеніи спутниковъ, сдѣланное въ 66-мъ предложеніи, остается и до настоящаго времени лучшимъ объясненіемъ этого предмета. Сдѣланное въ III книгѣ вычисленіе варіацій луны, движенія узловъ ея орбиты и измѣненія наклоненій орбиты представляютъ собой прекрасные и остроумные примѣры математическаго искусства. Но изобрѣтательный геній Ньютона дѣлалъ еще многое кромѣ того, что заключается въ напечатанныхъ имъ изслѣдованіяхъ. Во многихъ случаяхъ онъ опускалъ доказательства своихъ положеній и давалъ только одни результаты; — что происходило отъ поспѣшности или отъ утомленія, очень понятныхъ въ человѣкѣ, который боролся съ фактами и числами, съ трудностями составленія и развитія новыхъ идей, и наконецъ оттого, что онъ любилъ давать своему изложенію геометрическое изящество, съ которымъ онъ считалъ нужнымъ представлять публикѣ свои положенія. Такимъ образомъ напримѣръ, опредѣляя дѣйствіе

геометровъ и можетъ быть для того, чтобы читатели больше удивлялись ему. Этотъ же самый упрекъ можно приложить и къ самому Лапласу, если сравнить его первые мемуары въ Запискахъ парижской академіи съ позднѣйшими соотвѣтствующими имъ главами въ «Mechanique Celeste». (Литтровъ.)

эксцентрицитета лунной орбиты на движеніе апогеи, онъ говоритъ: «я не привожу здѣсь относящихся сюда вычисленій, потому что они слишкомъ запутанны и переполнены приближеніями» *).

Если уклоненія въ движеніи луны отъ ея правильнаго теоретически вычисленнаго пути такъ трудны для объясненія, и если ея неравенства и возмущенія такъ многочисленны и запутанны, то спрашивается, достаточны ли приведенныя Ньютономъ объясненія для подтвержденія этой части его теоріи, т. е. того, что указанныя неравенства въ движеніи луны происходятъ отъ ея тяготѣнія къ солнцу? Мы можемъ прямо отвѣчать, что они достаточны для этой цѣли; потому что величина неравенства, опредѣленная по его теоріи, весьма близко согласуется съ данными, полученными астрономами изъ наблюденій; и потому что наконецъ весьма вѣроятно, что при чрезвычайной запутанности вычисленій первые результаты могли быть нѣсколько неточны и такимъ образомъ могли произвести видимое несогласіе между вычисленіями и фактами. Прогрессія Апогеи; Регрессія Узловъ; и кромѣ того Эллиптическое или первое Неравенство, вытекающее изъ закона Эвекціи или втораго неравенства, открытаго Птоломеемъ; неравенство, вытекающее изъ закона Варіаціи открытаго Тихо,—всѣ эти пункты были представлены уже въ первомъ изданіи «Principia» какъ слѣдствія, вытекающія изъ его теоріи. Кромѣ того вычислены были величины этихъ неравенствъ и сравнены съ самыми точными наблюденіями; и согласіе между ними

*) Schol. къ Propos. 35, въ первомъ изданіи «Principia»

во многихъ случаяхъ было поразительно. Напримѣръ, Варіація согласовалалась съ новѣйшими наблюденіями Галилея даже въ минутахъ градуса. (Кн. III, Propos. 29). Среднее Годовое Движеніе Узловъ согласовалось съ наблюденіями даже въ сотой части всей величины. (Тамъ же Propos. 32). Опредѣленіе Движенія Узловъ тоже было согласно съ опытомъ. (Propos. 33). Наклоненіе Плоскости Орбиты къ эклиптикѣ и ея перемѣнъ соотвѣтственно различнымъ положеніямъ узловъ также согласовалась съ результатами наблюденій (Prop. 35). Мы уже сказали, что Эвекція представляла особенныя трудности и потому вычисленія ея не вполнѣ соотвѣтствовали наблюденіямъ. Разность ежедневнаго прямаго движенія Апогея въ сизигіяхъ и ежедневнаго Возвратнаго Движенія въ Квадратурахъ составляетъ, говоритъ Ньютонъ, по таблицамъ или наблюденіямъ $4^1/_4$ минуты, а по теоріи $^2/_3$ минуты. Къ этому онъ прибавляетъ: «я подозрѣваю, что эта разница происходитъ отъ какой-нибудь ошибки въ Таблицахъ.» Во второмъ изданіи «Principia» (1711) онъ прибавилъ вычисленія многихъ другихъ неравенствъ, напр. «Ежегодной Эквація» или уравненія, также открытой Тихо. Здѣсь же онъ сравнилъ свои результаты съ болѣе новыми наблюденіями, сдѣланными Флемстидомъ въ Гринвичѣ; это сравненіе еще разъ показало удивительно согласіе теоріи съ фактами, несмотря на всю запутанность фактовъ и сложность теоріи.

Та же самая теорія, которая указывала на возмущающую силу солнца какъ на причину этихъ Неравенствъ въ движеніи Луны, естественно наводила на мысль приписать той же причинѣ соотвѣтствующія

неравенства въ движеніяхъ спутниковъ другихъ планетъ и заставляла предполагать необходимость существованія неправильностей въ движеніи планетъ происходящихъ отъ ихъ взаимнаго притяженія. Ньютонъ указалъ положенія, посредствомъ которыхъ неправильности въ движеніи спутниковъ Юпитера могутъ быть выведены изъ неправильностей луны (кн. I. Prop. 66); и онъ же показалъ, что движенія ихъ узловъ должны быть незначительны, — что и подтвердилось наблюденіями Флемстида (кн. III. Prop. 23). Но Ньютонъ не пытался вычислять результатовъ взаимнаго дѣйствія планетъ, хотя и говорилъ, что на Юпитерѣ и Сатурнѣ этотъ результатъ слишкомъ значителенъ, чтобы можно было пренебрегать имъ (кн. III. Pr. 13). Во второмъ изданіи онъ прибавляетъ къ этому, что изъ его теоріи тяготѣнія слѣдуетъ, что афеліи Меркурія, Венеры, Земли и Марса медленно подвигаются впередъ (Schol. къ Prop. 14. кн. III).

Однако въ одномъ замѣчательномъ случаѣ основная теорія «Principia» не согласовалась съ наблюденіемъ и это несогласіе было велико и трудно объяснимо. И такъ какъ это несогласіе долгое время не поддавалось ни анализу Эйлера и Клеро, ни синтезу Ньютона, то математики на нѣкоторое время усумнились-было въ точности закона притяженія, дѣйствующаго обратно пропорціонально квадрату разстояній. Я разумѣю здѣсь Движеніе Апогеи Луны, относительно котораго методъ Ньютона и всѣ придуманные послѣ него методы давали только половину движенія, представляемаго наблюденіемъ; — обстоятельство, какъ показалъ Клеро въ 1750 г., происходящее отъ недостаточности въ мето-

дѣ приближенія. Ньютонъ не пытался примирить это несогласіе. Вычисливъ по своему методу, каково должно быть движеніе апсиды, если предположить, что возмущающая сила имѣетъ такую величину, какъ дѣйствіе солнца на луну, онъ просто прибавляетъ: «а между тѣмъ на дѣлѣ апсида луны движется вдвое скорѣе» *).

О трудности того дѣла, какое совершилъ Ньютонъ въ этомъ отдѣлѣ науки, и о силѣ ума, какая требовалась для этого, можно уже судить по тому, что мы доселѣ говорили: именно, что никто послѣ него и съ помощью его методовъ не былъ въ состояніи прибавить что-либо къ его трудамъ. Не многіе рѣшались разъяснять то, что онъ написалъ, и не многіе вполнѣ поняли написанное имъ. Чрезвычайная сложность силъ и условій, при которыхъ онѣ дѣйствуютъ въ разсматриваемыхъ нами случаяхъ, дѣлаютъ эту отрасль изслѣдованій самой трудной и тернистой во всей математикѣ. Здѣсь необходимо раздѣлить дѣйствіе на множество элементовъ, какіе только можно отыскать; изобрѣсти пріемы для разработки каждаго изъ нихъ; и полученные такимъ образомъ законы дѣйствія каждаго элемента соединить въ одно общее представленіе. Движенія луны не иначе можно ясно представить себѣ, какъ воображая схему еще болѣе сложную, чѣмъ Птолемеевы эпициклы и эксцентрики въ самой запутанной ихъ формѣ; и составныя части этой схемы уже

*) Кн. I. Prop. 44, втор. изд. Есть основаніе думать, что Ньютонъ въ своихъ ненапечатанныхъ вычисленіяхъ устранилъ указанную разницу.



не геометрическія идеи, требующія только отчетливаго представленія отношеній пространства, чтобы понять ихъ, а принципы механическихъ понятій, и нужно составлять ихъ такъ, чтобы они соотвѣтствовали основательнымъ механическимъ представленіямъ. Преемники Ньютона въ ближайшемъ поколѣніи отказались отъ всякой надежды сравняться съ нимъ въ этой напряженности умственныхъ усилій; они перенесли вопросъ въ область алгебраическихъ операцій, въ которыхъ за насъ думаютъ символы и намъ нѣтъ необходимости постоянно слѣдить за ихъ ходомъ и которыя даютъ намъ результаты объ отношеніяхъ пространства и законахъ силы, какъ бы ни были сложны условія, при которыхъ они комбинируются. Даже земляки Ньютона, хотя они долго держались его метода и долго отвергали указанный алгебраическій методъ, не произвели ничего, что могло бы сравниться съ изслѣдованіями Ньютона, или подвинуть ихъ далѣе.

Такимъ образомъ рѣшеніе Проблемы Трехъ Тѣлъ *) геометрическимъ способомъ принадлежитъ исключительно Ньютону; и доказательства взаимнаго дѣйствія солнца, планетъ и спутниковъ, основанныя на этой проблемѣ, изобрѣтены единственно и исключительно только имъ однимъ.

Но мы еще не кончили со всѣми открытіями Ньютона въ этой области; нѣкоторыя изъ самыхъ замѣчательныхъ и интереснѣйшихъ соображеній, соединен-

---

* См. исторію Проблемы Трехъ Тѣлъ выше, книга VI глава 6, § 7.



ныхъ съ этой проблемой, составляютъ дальнѣйшій шагъ въ его обобщеніяхъ.

5. Взаимное притяженіе всѣхъ частицъ матеріи.

Что всѣ части вселенной взаимно держатся и притягиваются связью, которую называютъ то Любовью, то Гармоніей, то какимъ-то Внутреннимъ Сродствомъ и другими именами, то наконецъ Притяженіемъ,— это мнѣніе высказывалось въ различныя времена мыслителями, писавшими наобумъ и незаботившимися о согласіи ихъ мнѣній съ истиной. Они не были точны и основательны ни въ представленіи общихъ принциповъ, ни въ приложеніи ихъ къ частнымъ случаямъ; и такимъ образомъ ихъ доктрины не относятся къ настоящей исторіи. Но въ числѣ тѣхъ, которые дѣйствительно имѣли мысль о взаимномъ притяженіи Матеріи, мы не можемъ не упомянуть Франсиса Бакона; потому что его воззрѣнія были такъ далеки отъ неосновательныхъ, и неопредѣленныхъ представленій тѣхъ писателей, о которыхъ мы только что упомянули, что онъ предложилъ даже экспериментъ посредствомъ котораго слѣдовало рѣшить, существуетъ ли между матеріальными частичками притяженіе или нѣтъ, и зависитъ ли тяжесть тѣлъ на землѣ отъ взаимнаго притяженія частицъ матеріи, или отъ ихъ стремленія къ центру земли. И этотъ экспериментъ *) даже въ настоящее время можно считать самымъ

*) Bacon, *Nov. Organ.* lib. II, aph. 36.



лучшимъ для доказательства всеобщаго тяготѣнія матеріи: онъ состоитъ въ сравненіи хода часовъ въ глубокихъ подземныхъ минахъ и на высокихъ горахъ. Гюйгенсъ въ своей книгѣ «De causa gravitatis», напечатанной въ 1690 году, показалъ, что земля должна имѣть нѣсколько сплюснутую форму, вслѣдствіе центробѣжной силы; но въ своихъ соображеніяхъ онъ не предполагалъ, что тяжесть зависитъ отъ взаимнаго притяженія частицъ земли. Видимое вліяніе луны на Приливы и Отливы уже давно было замѣчено, но никто не могъ вѣрно объяснить механизмъ этого вліянія; и всѣ аналогіи, на которыя указывали для объясненія этого и подобныхъ предметовъ, какъ напр. на магнитныя и другія притяженія, были вовсе неточны и не объясняли дѣла, потому что они представляли притяженіе, какъ нѣчто особенное для каждаго отдѣльнаго тѣла и зависящее отъ природы этого тѣла.

Что всѣ подобныя силы, какъ космическія, такъ и земныя, суть одна и таже сила и что эта сила совершенно однородна съ тѣмъ Притяженіемъ, которое существуетъ на землѣ между какими нибудь двумя камнями,—это была идея, сколько великая столь же и смѣлая; и она была бы непонятна для ума, если бы тѣ воззрѣнія, о которыхъ мы уже говорили, не приготовили умъ къ принятію ея. Эти предшествующія воззрѣнія и открытія показали, что между всѣми Небесными Тѣлами Солнечной Системы дѣйствуютъ силы точно такія, какія производятъ тяжесть тѣлъ на землѣ и слѣдовательно существуютъ въ каждой частичкѣ земной матеріи; после этого необходимо и самъ со-

бою возникалъ вопросъ, не существуютъ ли такія же силы во всѣхъ частичкахъ планетной матеріи и не составляютъ ли силы этихъ частичекъ своей совокупностью всего количества силъ солнечной системы. Но еслибы даже и предположить, что эта догадка справедлива, то все-таки должна была бы показаться, по крайней мѣрѣ на первый взглядъ, страшною всякая попытка доказать эту догадку. Потому что если эта догадка вѣрна, то каждая опредѣленная масса матеріи заключаетъ въ себѣ силы, которыя составляютъ результатъ безконечно многихъ силъ ея безконечно малыхъ частичекъ, и эти силы дѣйствуютъ въ безконечно различныхъ направленіяхъ. На первый взглядъ трудно было понять, чтобы законъ, по которому сила дѣйствуетъ соотвѣтственно разстоянію, былъ одинъ и тотъ же какъ для отдѣльныхъ частичекъ, такъ и для массъ; и на дѣлѣ это не такъ, исключая нѣкоторые особенные случаи. И потомъ далѣе, видя какой-нибудь эффектъ, производимый силою, какъ мы можемъ знать, находится ли эта сила во всей массѣ тѣла какъ единицѣ, или же заключается въ каждой отдѣльной частичкѣ? Мы можемъ предполагать, какъ сдѣлалъ Ньютонъ *), что доказательство, которое убѣждаетъ насъ въ томъ, что тяжесть дѣйствуетъ вообще относительно планетъ, доказываетъ также и дѣйствіе тяжести относительно и ихъ частей; но умъ нашъ не удовлетворяется такимъ расширеніемъ доказательства, если мы не находимъ рѣшительныхъ примѣровъ и вычисленій, доказывающихъ хотя при-

*) «Principia», кн. III, prop. 7.

близительно справедливость этого предположенія. Поэтому Ньютону предстояло рѣшить новую серію проблемъ, представляемыхъ этимъ вопросомъ; и онъ сдѣлалъ это.

Эти рѣшенія обнаруживаютъ не меньше математическаго таланта, чѣмъ и другія части «Principia.» Положенія, въ которыхъ Ньютонъ доказалъ, что законъ обратной пропорціональности квадрату разстояній въ приложеніи къ частичкамъ тѣла вполнѣ прилагается и къ массамъ тѣлъ, если они имѣютъ сферическую форму,—заключаютъ въ себѣ столько прелести, что ихъ слѣдовало бы обнародовать только за ихъ математическое искусство, еслибы они даже и не имѣли приложенія къ дѣйствительнымъ случаямъ. То же великое остроуміе обнаруживается и въ другихъ случаяхъ, связанныхъ съ этимъ вопросомъ, какъ напр. при опредѣленіи притяженія сфероидовъ съ малымъ эксцентрицитетомъ. Послѣ того, какъ Ньютонъ опредѣлилъ такимъ образомъ механическое дѣйствіе массъ, имѣющихъ различныя формы, онъ приложилъ результаты такого дѣйствія къ солнечной системѣ и обнаружилъ при этомъ удивительное остроуміе: онъ не только показалъ общее свойство дѣйствія, но и вычислилъ количество его. Я разумѣю здѣсь въ особенности его соображенія о Фигурѣ Земли, о Приливахъ и Отливахъ, о Предвареніи Равноденствій, о Регрессіи Узловъ кольца Сатурна и о многихъ другихъ дѣйствіяхъ, которыя въ то время не были даже извѣстны и констатированы какъ факты наблюденія, напр. о разницѣ тяжести въ различныхъ широтахъ и о Нутаціи земной оси. Конечно во многихъ изъ этихъ слу-

чаевъ на изслѣдованія Ньютона можно смотрѣть только какъ на приблизительное рѣшеніе вопросовъ. Въ одномъ случаѣ, именно въ Предвареніи Равноденствій, онъ даже сдѣлалъ ошибку и вообще во всѣхъ случаяхъ его способы вычисленія были недостаточны. Но эти изслѣдованія были болѣе трудны, чѣмъ Проблема Трехъ Тѣлъ, когда три точки дѣйствуютъ одна на другую по опредѣленнымъ законамъ. Даже въ настоящее время улучшенные способы новѣйшаго анализа, приложенные ко многимъ изъ этихъ вопросовъ, не вполнѣ увѣнчивались успѣхомъ, и вообще всѣ эти вопросы требуютъ еще полнаго утвержденія и окончательнаго разъясненія ихъ, чего не сдѣлано даже до настоящаго времени. Тѣмъ неменѣе форма и свойство заключеній, полученныхъ Ньютономъ, таковы, что внушаютъ намъ полную увѣренность въ томъ, что его теорія можетъ объяснить всѣ космическіе феномены, о которыхъ мы говорили. Мы впослѣдствіи будемъ еще говорить о работахъ, предпринятыхъ для того, чтобы болѣе точно объяснить космическіе феномены и основывавшихся на теоріи Ньютона.

Такимъ образомъ теорія всеобщаго взаимнаго тяготѣнія всѣхъ частичекъ матеріи, дѣйствующаго обратно пропорціонально квадратамъ разстояній, была вполнѣ доказана, ея слѣдствія были вычислены и доказано было ея согласіе съ фактами. Было найдено, что новая теорія обнимаетъ всѣ факты астрономіи, какіе до тѣхъ поръ были открыты; она указывала даже на новые факты, которые трудно было открыть по ихъ малости, или по чрезвычайной сложности, но которые сами собой вытекали изъ теоріи и потому

могли служить критеріемъ и подтвержденіемъ ея истины. Тѣ же самыя разсужденія, которыми разъяснялись эвекція, варіація и годичное уравненіе или эквація луны, показывали, что должно быть еще много другихъ неравенствъ, кромѣ этихъ; потому что на нихъ указывали методы приблизительнаго вычисленія, въ которыхъ были оставлены безъ вниманія малыя количества. И дѣйствительно, впослѣдствіи оказалось, что неравенства, открытыя доселѣ астрономами, не опредѣляютъ положенія луны съ удовлетворительной точностью; такъ что необъясненныя доселѣ неправильности представляютъ собою тѣ случаи, которые предсказываетъ эта теорія и которые должны объясняться ею. Но довершить это дѣло предоставлено было послѣдующему столѣтію, хотя началъ его все-таки Ньютонъ. Такимъ образомъ въ концѣ того предложенія (кн. III, prop. 22), гдѣ онъ утверждаетъ, что всѣ движенія луны и ихъ неправильности вытекаютъ изъ принциповъ, установленныхъ имъ, онъ самъ дѣлаетъ замѣчаніе, которое мы только-что сдѣлали, о томъ, что есть еще много фактовъ, которые также должны впослѣдствіи объясниться его теоріей, и въ примѣръ указываетъ на различныя движенія апогеи и узловъ, на разницу измѣненій эксцентрицитета, на разницу въ варіаціяхъ луны, соотвѣтствующую ея различнымъ разстояніямъ отъ солнца. Но эти неравенства, говоритъ онъ, въ астрономическихъ вычисленіяхъ обыкновенно относятся къ простаферезису луны и смѣшиваются съ нимъ.

(3-е изд.). *Дѣйствительно ли тяготѣніе пропорціонально количеству матеріи или массѣ?* — Въ великомъ открытіи Ньютона одну изъ существенныхъ частей составляло положеніе, что всѣ тѣла взаимно притягиваютъ другъ друга съ силой, которая прямо пропорціональна количеству матеріи въ каждомъ изъ нихъ, т. е. массѣ ихъ; что напр. солнце притягиваетъ и спутниковъ какой-нибудь планеты, точно также какъ и самую планету, пропорціонально количеству матеріи или массѣ каждаго изъ нихъ, и планеты притягиваютъ одна другую, точно также какъ притягиваютъ самое солнце, все пропорціонально своимъ массамъ.

Доказательство этой части закона тяготѣнія требовало самыхъ тщательныхъ наблюденій и опытовъ; и хотя она доказана была Ньютономъ опытнымъ путемъ, однако въ наше время великій астрономъ Бессель счелъ нужнымъ сдѣлать новую повѣрку этой истины. Для сомнѣнія въ этой истинѣ были нѣкоторыя основанія: масса Юпитера, если ее вычислять на основаніи возмущеній, производимыхъ имъ въ Сатурнѣ, оказывается $^{1}/_{1070}$ массы солнца, между тѣмъ какъ масса той же самой планеты, если ее вычислять на основаніи возмущеній, производимыхъ ею въ движеніяхъ Юноны и Паллады, оказывается $^{1}/_{1045}$ массы солнца. Еслибы точныя наблюденія и вычисленія подтвердили эту разницу, то изъ этого слѣдовало бы, что притягательная сила, оказываемая Юпитеромъ на малыя планеты, больше его силы, оказываемой имъ на Сатурна. Также точно если притяженіе земли имѣетъ специфическое отношеніе къ различнымъ веществамъ, т. е.

дѣйствуетъ различнымъ образомъ на различныя вещества, тогда времена качаній двухъ маятниковъ равной длины, но сдѣланныхъ изъ разныхъ веществъ, были бы различны. Если напр. земное тяготѣніе дѣйствуетъ на магнитное желѣзо напряженнѣе, чѣмъ на камень, тогда желѣзный маятникъ долженъ былъ бы качаться быстрѣе. Бессель показалъ *), что можно предполагать гипотетическое устройство солнца, планетъ и ихъ спутниковъ въ такомъ видѣ, что притяженіе солнца, оказываемое имъ на Планеты и ихъ Спутники, пропорціонально количеству матеріи или массѣ ихъ; но что притяженіе, оказываемое планетами одна на другую, имѣетъ другую пропорцію.

Ньютонъ дѣлалъ опыты (описанные въ «Principia», кн. III, предл. VI), доказывающіе, что земное тяготѣніе дѣйствуетъ одинаково на всѣ земныя тѣла; по крайней мѣрѣ онъ не замѣтилъ ни малѣйшей ощутительной специфической разницы въ дѣйствіи его на тѣла изъ различныхъ веществъ. Но опыты Ньютона не могутъ назваться точными съ точки зрѣнія строгихъ требованій новѣйшей науки. Бессель произвелъ цѣлый рядъ опытовъ (представленныхъ Берлинской Академіи въ 1832 г.), которые совершенно опровергаютъ предположеніе такой разницы: всякое испытуемое вещество давало совершенно одинаковый коэффиціентъ напряженія тяготѣнія при сравненіи его съ инерціей. Между испытуемыми веществами были металлическія и каменныя массы метеорическаго происхожденія, о

*) Berlin, Mem. 1824.

которыхъ можно предполагать, что они приходятъ къ намъ изъ другихъ частей солнечной системы.

Значенiе ньютоновскихъ открытiй. Вотъ какова великая ньютоновская Индукцiя о Всеобщемъ Тяготѣнiи и вотъ какова ея исторiя! Безспорно это есть величайшее научное открытiе изъ всѣхъ когда-либо сдѣланныхъ, какъ по заключающимся въ немъ задаткамъ будущихъ открытiй, такъ и по обширному объему открытыхъ истинъ, по основательности и удовлетворительности ихъ. Относительно перваго пункта мы можемъ замѣтить, что каждое изъ пяти положенiй, на которыя мы раздѣлили въ нашемъ изложенiи открытiе Ньютона, само по себѣ можетъ считаться важнымъ шагомъ впередъ, можетъ составить честь лицу сдѣлавшему его, и времени, въ которое оно было сдѣлано. А всѣ вмѣстѣ эти 5 положенiй образуютъ собой не просто шагъ впередъ, но высокiй полетъ, составляютъ не просто улучшенiе, но совершенное преобразованiе, не эпоху, а цѣлый перiодъ въ наукѣ. Астрономiя вдругъ перешла изъ младенческаго состоянiя, въ которомъ она находилась до тѣхъ поръ, въ состоянiе мужественной зрѣлости. Далѣе, относительно обширности мы получили въ этомъ открытiи самую обширную истину, самое широкое обобщенiе, какое возможно для нашихъ физическихъ знанiй; мы узнали, что каждая частичка матерiи во всякое время, во всѣхъ мѣстахъ и при всякихъ обстоятельствахъ притягиваетъ всякую другую частичку во вселенной по одному общему закону дѣйствiя. Сказавъ выше объ

основательности и удовлетворительности истинъ, данныхъ этимъ открытіемъ, я разумѣлъ то, что оно указало намъ нетолько правило или законъ, но и причину небесныхъ движеній, и притомъ причину, которую мы понимаемъ яснѣе всего, которую мы можемъ представить отчетливо и наглядно, именно механическую силу. Законы Кеплера были просто формальными правилами, по которымъ совершаются небесныя движенія относительно пространства, времени и числа; а Ньютонъ открылъ причинный законъ, который свелъ эти движенія къ настоящимъ механическимъ основаніямъ. Нѣтъ сомнѣнія, что будущія открытія расширятъ и далѣе разъяснятъ ученіе Ньютона; окажется можетъ быть, что тяготѣніе есть только частный случай какого-нибудь болѣе обширнаго закона, можетъ быть что-нибудь будетъ узнано относительно способа, какимъ дѣйствуетъ эта таинственная сила,—вопросы, съ которыми боролся самъ Ньютонъ. Но въ тоже время найдется немного людей, которые стали бы оспаривать, что теорія Ньютона никогда не имѣла равной себѣ по обширности и общности, по глубинѣ и основательности *).

---

*) Значеніе и достоинство открытій Ньютона признано во всѣхъ образованныхъ странахъ, занимающихся наукой. Однако есть, кажется, въ одной странѣ Европы философская школа, которая оспариваетъ заслуги Ньютона въ этой части его открытій. «Кеплеръ, говоритъ пресловутый германскій метафизикъ (Гегель, «Энцикл.», § 270), открылъ законы свободнаго движенія, покрывшіе его безсмертной славой. Но съ нѣкотораго времени вошло въ моду говорить, будтобы Ньютонъ первый нашелъ осно-

Необходимымъ условіемъ для такого открытія въ этомъ, какъ и въ другихъ случаяхъ, требовалась отъ

ваніе или доказательство этихъ законовъ. Рѣдко бывали случаи, въ которыхъ бы болѣе несправедливымъ образомъ честь перваго открытія съ открывшаго переносилась на другаго.» Страннымъ кажется, что еще въ наше время кто-нибудь можетъ выражаться подобнымъ образомъ; но если ближе изслѣдовать основанія, которыя приводитъ этотъ философъ, то окажется, что умъ его находился въ томъ же положеніи, какъ и умъ Кеплера, что весь рядъ механическихъ идей и способовъ воззрѣнія, составляющій переходъ отъ Кеплера къ Ньютону, былъ совершенно чуждъ области его философіи. Но даже и этотъ философъ, если только я правильно понялъ его, признаетъ Ньютона основателемъ ученія о возмущеніяхъ.

Болѣе подробный отчетъ объ этихъ воззрѣніяхъ я сообщилъ въ мемуарѣ «On Hegel's Criticism of Newton's Principia», Cambridge Transactions, 1849. (Уэвелль).

Въ параллель къ приведенному мѣсту мы прибавимъ еще одно мѣсто, принадлежащее тому же родоначальнику этой новой школы. «Оказывается поэтому, что Ньютонъ этими явленіями (цвѣтами спектра) введенъ былъ въ грубое заблужденіе, что лучи съ различной преломляемостью просто пустая выдумка и что однимъ словомъ все то, что въ оптикѣ Ньютона называется теоремой, заключаетъ въ себѣ нелѣпѣйшія гипотезы, которыя когда-либо выдумывалъ человѣкъ. Со времени возрожденія наукъ никогда не было написано такой ложной и вредной книги, какъ эта оптика. Всѣ опыты ея ложны нетолько относительно чрезвычайно странныхъ теоремъ, которыя должны доказываться ими, но даже относительно пониманія наблюдаемыхъ явленій. Можно смѣло сказать, что ни одно сочиненіе по физикѣ не занималось бо́льшимъ количествомъ наблюденій и опытовъ и ни одно не наполнено такимъ громаднымъ количествомъ гипотезъ и притомъ самыхъ

открывателя идея и сравненіе ея съ фактами, правильное представленіе закона и сообщеніе ему такой формы, чтобы онъ соотвѣтствовалъ существующимъ начальнымъ знаніямъ о явленіяхъ. Идея механической силы какъ причины небесныхъ движеній за нѣсколько времени до этого уже укоренилась въ умахъ людей,

---

непонятныхъ и странныхъ, какъ оптика Ньютона, восхваляемая однако и до сихъ поръ какъ классическая книга.—Вотъ одинъ изъ сотни примѣровъ. Чтобы объяснить преломленіе и отраженіе лучей свѣта, онъ принимаетъ притяженіе своего «Deus ex machina» безъ всякаго значенія и вмѣстѣ съ тѣмъ отталкиваніе въ прозрачныхъ тѣлахъ, какое ему нужно.—Слыхано ли когда-нибудь что-либо болѣе странное! И этимъ блещетъ вся книга и это есть хваленая система, которая будто бы основывается на опытѣ безъ всякихъ гипотезъ! Можно ли быть такъ ослѣпленнымъ! Остроумія въ видоизмѣненіи экспериментовъ, скораго узнаванія, гдѣ лежитъ основаніе того или другаго явленія, у него вовсе нѣтъ; онъ видѣлъ только линіи, отъ которыхъ исходитъ явленіе, измѣрялъ углы ихъ и воображалъ это основаніемъ явленія. Эксперименты Ньютона большею частью такъ нечисты и во многихъ изъ нихъ такое множество смѣшаннаго, что невозможно, чтобы онъ самъ этого не замѣчалъ, если только онъ былъ хоть сколько-нибудь въ состояніи думать о своихъ наблюденіяхъ или смотрѣть на нихъ свободнымъ, безпристрастнымъ взглядомъ. — Нѣтъ ничего легче, какъ опровергать оптику Ньютона; безъ всякихъ аппаратовъ, съ одною призмой изъ обыкновеннаго стекла, съ цвѣтной бумагой и темной комнатой можно все сдѣлать.» «Ideen zur Theorie des Lichts». Iena, b. Troman, 1808. — Читатель конечно не нуждается въ какихъ-нибудь нашихъ замѣчаніяхъ на это и другія подобныя мѣста. Quid opus est verbis, ubi rerum testimonia adsunt. (Литтровъ.)

какъ мы видѣли нѣсколько разъ; она сдѣлалась болѣе отчетливой и болѣе общей, и у нѣкоторыхъ ученыхъ даже имѣла форму, какую далъ ей окончательно Ньютонъ. Но уже въ основномъ представленіи всеобщаго тяготѣнія Ньютонъ пошелъ гораздо дальше своихъ предшественниковъ и современниковъ, и его представленіе было несравненно общѣе и отчетливѣе; по изобрѣтательности же и остроумію, съ которыми онъ вывелъ слѣдствія изъ своего основнаго представленія, не было, какъ мы уже сказали, человѣка, который бы могъ соперничать или хоть даже сравняться съ нимъ. Что касается фактовъ, которые онъ подвелъ подъ свой законъ, то они были накоплены съ самаго начала существованія астрономіи; тѣ же факты, которые преимущественно и особенно слѣдовало объяснить ему, были законы планетныхъ движеній, открытые Кеплеромъ, и наблюденія надъ движеніемъ луны, сдѣланныя Тихо де-Браге и Іереміей Горроксомъ.

Здѣсь мы имѣемъ случай сдѣлать замѣчаніе, имѣющее важность относительно свойства прогрессивной науки. Фактами, которыми пользовался и которые объяснялъ Ньютонъ, были законы, открытые его предшественниками. Чтó у Кеплера и Горрокса было только «теоріей», то у Ньютона стало истиной, пригодной для построенія другихъ теорій. Такимъ образомъ одна теорія строится на другой, мы восходимъ отъ частныхъ положеній къ общимъ понятіямъ, отъ одного обобщенія къ другому; словомъ, мы идемъ послѣдовательно возвышающимися ступенями индукціи. Для открытія законовъ Кеплера необходимы были факты, полученные какъ результаты изъ планетной теоріи

Птолемея; и такимъ образомъ теоріи каждаго поколѣнія въ научномъ мірѣ становятся (если онѣ повѣряются и подтверждаются) фактами, на которыхъ основываются дальнѣйшія поколѣнія. Теорія Ньютона есть кругъ обобщенія, обнимающій всѣ прежнія теоріи и обобщенія; высшая точка индуктивнаго восхожденія; послѣдняя катастрофа философской драмы, прологъ къ которой составленъ еще Платономъ; пунктъ, къ которому умы людей шли больше чѣмъ двѣ тысячи лѣтъ.

Личность Ньютона. Не легко анализировать свойство и операціи ума, который такъ далеко подвинулъ наше знаніе. Однако мы можемъ сказать, что у него должны были быть въ высшей степени тѣ элементы, изъ которыхъ составляется математическій талантъ. Онъ долженъ былъ обладать опредѣленностью воззрѣнія, твердостью и быстротой въ отысканіи логической связи, плодовитой изобрѣтательностью и постояннымъ стремленіемъ къ обобщенію. Въ Ньютонѣ легко открыть слѣды этихъ качествъ. Отчетливость его пространственныхъ воззрѣній, а слѣдовательно и сила ихъ, были замѣтны уже въ его дѣтскихъ забавахъ, въ томъ, что онъ устроивалъ часы и мельницы, карты и солнечные часы, также какъ и въ томъ, что онъ съ легкостью изучалъ геометрію. Эта склонность къ механическимъ работамъ, къ дѣланію моделей и машинъ обнаруживалась рано у всѣхъ талантовъ, прославившихся впослѣдствіи въ физическихъ наукахъ *);

*) Это мы видимъ на Галилеѣ, Гукѣ, Гюйгенсѣ и другихъ.



и это вѣроятно происходило отъ той отчетливости въ воззрѣніи, съ какой дитя воспринимаетъ формы и упражняется надъ сочетаніями такихъ матеріальныхъ формъ. Изобрѣтательная способность Ньютона доказывается многочисленностью и разнообразіемъ математическихъ искусныхъ пріемовъ, которыми полны его сочиненія. Мы можемъ видѣть изобрѣтательную способность только однимъ путемъ, которымъ возможно увидѣть ее. Именно, когда въ душѣ открывается источникъ, бьющій цѣлымъ потокомъ всевозможныхъ мыслей и способовъ, тогда умъ слѣдитъ за ними, чтобы остановить и удержать тѣ изъ нихъ, которые наиболѣе подходятъ къ его цѣли, а всѣ другіе заставить пройти и потомъ забыть ихъ. По этому процессу мы и можемъ судить, какая необыкновенная плодовитость ума требуется для столь многихъ преемственныхъ усилій, какое безчисленное множество мыслей должно быть произведено для того, чтобы можно было выбрать изъ нихъ тѣ, которыя заслуживаютъ выбора. И такъ какъ при этомъ выборѣ нужно выводить слѣдствія изъ каждой представляющейся мысли и потомъ сравнивать и сопоставлять ихъ съ искомыми условіями, то понятно, какая необходима при этомъ быстрота и вѣрность въ выведеніи заключеній и сколько бдительности и терпѣнія долженъ имѣть умъ.

Сокровенный источникъ нашихъ произвольныхъ мыслей есть тайна для насъ самихъ; и въ нашемъ сознаніи мы не имѣемъ никакой мѣры, которою мы могли бы измѣрять наши собственные таланты; только наши дѣйствія и привычки составляютъ предметъ, подлежащій нашему сознанію. Поэтому мы можемъ по-

нять, какимъ образомъ Ньютонъ не замѣчалъ никакой разницы между собой и другими людьми и видѣлъ только свою указанную нами выше привычку къ упорной твердости и постоянной бдительности. Когда его спрашивали, какимъ путемъ онъ сдѣлалъ свои открытія, онъ отвѣчалъ: «тѣмъ, что постоянно думалъ объ нихъ»; и въ другой разъ онъ выразился, что, если онъ и сдѣлалъ что-нибудь, этимъ обязанъ единственно только мыслительному трудолюбію и терпѣнію. «Я постоянно держу въ умѣ предметъ моего изслѣдованія», говоритъ онъ, «и терпѣливо жду, пока едва брезжущій, утренній свѣтъ постепенно и мало-по-малу не превратится въ полный и блестящій свѣтъ.» Нельзя составить болѣе яснаго понятія о свойствѣ того умственнаго напряженія, посредствомъ котораго онъ приводитъ въ дѣйствіе всю полноту своихъ силъ; но самыя эти силы ума у разныхъ людей весьма различны. Есть много такихъ людей, которые цѣлый вѣкъ могутъ прождать въ сумеркахъ и никогда не дождаться и малѣйшаго свѣта.

Это качество Ньютона, которому онъ во многихъ отношеніяхъ обязанъ былъ своими открытіями, это неослабное вниманіе къ возникающимъ въ умѣ идеямъ и развитіе результатовъ ихъ во всѣхъ направленіяхъ, было до такой степени развито въ немъ, что представившаяся ему идея вполнѣ завладѣвала имъ и всецѣло поглощала его умъ и дѣлала его невнимательнымъ и почти нечувствительнымъ къ внѣшнимъ впечатлѣніямъ и къ обыкновеннымъ жизненнымъ возбужденіямъ. Тѣ разсказы, въ которыхъ говорится о его необыкновенномъ самоуглубленіи и сосредоточенности и о крайней

забывчивости относительно посторонних предметовъ, относятся вѣроятно къ двумъ годамъ, въ теченіе которыхъ онъ писалъ свои «Principia» и погруженъ былъ въ умозаключенія самыя плодотворныя, самыя сложныя и самыя важныя изо всѣхъ, надъ какими когда-либо работалъ философствующій умъ. Величественные поразительные вопросы, возникавшіе предъ нимъ въ теченіе этого періода, постоянно представлявшіяся ему трудныя проблемы, рѣшеніе которыхъ было необходимо для его великой цѣли, вполнѣ и всецѣло поглотили собой его умъ. «Онъ существовалъ только для того», говоритъ Біо, «чтобы мыслить и вычислять.» Часто, погруженный въ размышленіе, онъ не зналъ что дѣлалъ и въ эти мгновенія казалось, что его умъ вполнѣ забывалъ о своей связи съ тѣломъ. Его слуга разсказывалъ, что Ньютонъ, проснувшись утромъ, часто просиживалъ большую часть дня на постели полураздѣтый и что иногда обѣдъ ждалъ его цѣлые часы на столѣ, прежде чѣмъ онъ касался до него. Даже при его необыкновенныхъ способностяхъ, то, что онъ сдѣлалъ, было почти несовмѣстно съ обыкновенными условіями человѣческой жизни. Имѣя высокіе таланты, онъ, для достиженія своей цѣли, долженъ былъ употреблять еще крайнее напряженіе мысли, усиленную энергію, твердость воли и силу характера.

Ньютонъ признанъ высочайшимъ примѣромъ мудреца, такъ что его моральныя и умственныя качества считались образцами философскаго характера; и тѣ, которые любятъ, чтобы великіе таланты всегда соединялись съ высокими моральными качествами, съ удо-

вольствіемъ читаютъ отзывы современниковъ о Ньютонѣ, потому что всѣ они единогласно представляютъ его незлобивымъ и кроткимъ, мягкимъ и добрымъ человѣкомъ. Какъ примѣръ сужденій о его личности его современниковъ мы можемъ здѣсь привести слова Томсона въ поэмѣ на смерть его.

Разскажите намъ вы, лучше всѣхъ могущіе разсказать,
Вы, видѣвшіе его въ свѣтѣ жизни,
Разскажите объ этомъ чудесномъ человѣкѣ,
Какъ онъ былъ тихъ и скроменъ и божественно добръ,
Какъ твердо стоялъ онъ на вѣчной истинѣ и т д. *)

(2-е изд.) (Въ первомъ изданіи «Principia», напечатанномъ въ 1687 г., Ньютонъ показалъ, что свойство всѣхъ извѣстныхъ въ то время неравенствъ луны и въ нѣкоторыхъ случаяхъ даже ихъ величина могутъ быть выведены изъ принциповъ, которые онъ установилъ; но опредѣленіе свойствъ и законовъ мно-

---

*) Таково же было и общее мнѣніе объ немъ въ его время. Напримѣръ, одинъ изъ «Видовъ Кембриджа» Логана посвященъ «Isaaco Newtono... Mathematico, Physico, Chymico consummatissimo; nec minus suavitate morum et candore animi.... spectabili».

Противоположность этому общему характеру свидѣтельствъ составляютъ жалобы Флемстида, который говоритъ, что Ньютонъ слишкомъ сурово и страстно поступилъ съ нимъ въ дѣлѣ по поводу публикаціи его «Гринвичскихъ наблюденій» и наблюденій Уистона. Однако даже самъ Флемстидъ хорошо отзывается объ общемъ характерѣ Ньютона. А Уистонъ самъ былъ человѣкъ раздражительный и зараженный предразсудками, такъ что его свидѣтельство имѣетъ мало значенія. (Увелль).

гихъ неравенствъ онъ отложилъ до болѣе благопріятнаго времени, когда у него будутъ лучшія астрономическія наблюденія. Такія наблюденія, какія ему нужны были для этой цѣли, сдѣланы были Флемстидомъ, и онъ просилъ ихъ у него, представляя ему, какъ много выиграли бы дальнѣйшія наблюденія при ихъ употребленіи. «Еслибы, говоритъ онъ, вы публиковали свои наблюденія безъ всякой теоріи въ пользу ихъ, то они были бы просто сложены въ общую кучу наблюденій прежнихъ астрономовъ, пока не нашелся бы кто-нибудь, кто усовершенствовалъ бы теорію луны и нашелъ бы, что ваши наблюденія гораздо точнѣе, чѣмъ другія. Но Богъ знаетъ, случилось ли бы это, и я боюсь, что вамъ пришлось бы умереть, не дождавшись этого, еслибъ я умеръ прежде теоретической повѣрки вашихъ наблюденій. Я нахожу движенія луны столь запутанными, а теорію тяготѣнія такъ необходимой для объясненія ихъ, что думаю, что объяснитъ ихъ только тотъ, кто понимаетъ теорію тяготѣнія такъ же какъ я, или лучше меня.» Онъ получилъ отъ Флемстида наблюденія надъ луною, которыхъ просилъ, и на основаніи ихъ составилъ теорію луны, которую Давидъ Грегори въ своей «Astronomiae elementae» назвалъ ньютоновскою *). Точно также онъ получилъ отъ Флемстида величины діаметровъ

---

*) Въ предисловіи къ «Treatise on Dynamics», t. I, напечатанной въ 1836 г., я старался доказать, что ньютоновы методы опредѣленія многихъ лунныхъ неравенствъ отличаются не меньшею точностью, чѣмъ новѣйшіе аналитическіе методы.

планетъ, опредѣленныя наблюденіями въ различныя времена и величину наибольшаго удаленія спутниковъ Юпитера; и этими данными, какъ говоритъ Флемстидъ, воспользовался въ своихъ «Principia».

Ньютонъ въ своихъ письмахъ къ Флемстиду, въ 1694—5 гг., призналъ за нимъ эту его заслугу *).

---

*) Споръ по поводу публикаціи наблюденій Флемстида возникъ позже. Флемстидъ желалъ, чтобы его наблюденія напечатаны были вполнѣ безъ всякихъ пропусковъ и измѣненій. Галлей, который подъ руководствомъ Ньютона и другихъ занимался редактированіемъ и изданіемъ наблюденій, сдѣлалъ въ нихъ много измѣненій и пропусковъ, которые показались Флемстиду уродованіемъ и извращеніемъ его трудовъ. Важность печатанія всей полной серіи наблюденій, теперь признанная всѣми, тогда еще неизвѣстна была астрономамъ вообще; но Флемстидъ понималъ ее очень хорошо и упорно настаивалъ на своихъ требованіяхъ. Дѣло кончилось тѣмъ, что Флемстидъ самъ на свой счетъ напечаталъ свои наблюденія и даже получилъ дозволеніе уничтожить экземпляры, напечатанные Галлеемъ,—что онъ и сдѣлалъ. Въ 1726 г., послѣ смерти Флемстида, вдова его обратилась къ оксфордскому вицеканцлеру съ просьбой, чтобы томъ, напечатанный Галлеемъ, былъ взятъ изъ Бодлеянской библіотеки, гдѣ онъ находится, и уничтоженъ, такъ какъ онъ «есть ни что иное какъ исполненное ошибокъ сокращеніе сочиненія Флемстида» и недостоинъ появленія въ свѣтъ.

ГЛАВА III.

Слѣдствія Эпохи Ньютона. — Пріемъ Ньютоновской Теоріи.

---

§ 1. Общія Замѣчанія.

Ученіе о всеобщемъ тяготѣніи, подобно другимъ великимъ открытіямъ въ наукѣ, требовало извѣстнаго времени, чтобы проложить себѣ дорогу къ умамъ людей; оно нуждалось въ подтвержденіи, разъясненіи и дополненіи трудами послѣдующихъ мыслителей. Такъ какъ само открытіе было выше всѣхъ предшествовавшихъ открытій, то и слѣдствія и выводы изъ него имѣли гигантскіе размѣры. Многія обширныя и трудныя изслѣдованія, изъ которыхъ каждое само по себѣ можетъ считаться особой обширной наукой и которыми занимались глубокіе и ревностные ученые отъ того времени и до нашихъ дней, суть ни что иное какъ только отдѣльныя части повѣрки ньютоновской теоріи. Это можно сказать почти обо всемъ, что сдѣлано было и что до сихъ поръ дѣлается въ астрономіи; и только за крайними границами солнечной системы

астрономъ встрѣчаетъ явленія, которыя не подчиняются ньютоновскому законодательству *). — Мы должны представить очеркъ событій этой части исторіи астрономіи; но разсказъ нашъ по необходимости долженъ быть очень кратокъ и неполонъ, потому что этотъ предметъ обширенъ и богатъ содержаніемъ, а границы нашего сочиненія тѣсны. Мы занимаемся здѣсь исторіей открытій лишь настолько, насколько это необходимо для разъясненія и пониманія ихъ философскаго значенія. И хотя астрономическія открытія послѣдняго столѣтія даже въ этомъ отношеніи имѣютъ нѣкоторую долю значенія, однако обобщенія, къ которымъ они повели, менѣе важны для нашей цѣли, потому что они уже заключались въ обобщеніи, ко-

*) Въ подтвержденіе этого неподчиненія нельзя привести никакого доказательства; напротивъ, по собраннымъ доселѣ опытамъ объ этомъ предметѣ, представляется весьма вѣроятнымъ, что тотъ же самый законъ притяженія, который Ньютонъ нашелъ для нашей солнечной системы, имѣетъ силу и дѣйствуетъ и за предѣлами ея, и что можетъ быть онъ есть всеобщій законъ природы. Взаимныя движенія двойныхъ звѣздъ γ Дѣвы, ϑ Геркулеса, α Близнецовъ, ξ Большой Медвѣдицы, σ Короны и т. д. вычислены по этому закону и результаты этихъ вычисленій довольно согласны съ опытами. Еще болѣе подтверждается эта мысль интереснымъ разсужденіемъ Бесселя о замѣчательной двойной звѣздѣ 61 Лебедя (Schumacher's, Astr. Nachr., № 365), въ которомъ онъ сообщилъ первое точное опредѣленіе годоваго параллакса этой звѣзды (0",314); изъ чего слѣдуетъ, что ея разстояніе равняется 657,700 поперечникамъ земной орбиты. (Литтровъ).

торое имъ предшествовало. Свѣтъ открытій Ньютона такъ блестящъ, что всѣ его послѣдователи кажутся темными и мутными. Конечно отношеніе между Ньютономъ и его преемниками не вполнѣ походитъ на тотъ случай, который описываетъ нашъ поэтъ:

Въ театрѣ глаза зрителей,
Послѣ того какъ удаляется со сцены прекрасно игравшій актеръ,
Съ неудовольствіемъ обращаются на актера, игравшаго послѣ него;
Такъ какъ зрители ожидаютъ, что его болтовня будетъ скучна.

Но все-же взоры наши не такъ пристально и напряженно направляются на астрономовъ, слѣдовавшихъ за Ньютономъ, и мы съ меньшимъ любопытствомъ слушаемъ ихъ; потому что напередъ знаемъ если не весь ходъ, то конецъ и результаты ихъ разсказовъ, знаемъ, что ихъ рѣчи закончатся высокими идеями Ньютона, высказанными только въ какой-нибудь новой формѣ.

Тѣмъ неменѣе исторія повѣрки и дальнѣйшаго развитія всякаго великаго открытія въ высшей степени важна и интересна. Въ настоящемъ случаѣ она особенно важна какъ по глубинѣ и важности самой новой теоріи, такъ и по остроумію и геніальности методовъ, употребленныхъ для ея развитія. И пока ньютоновская теорія нуждается въ повѣркѣ, вопросъ объ истинности или ложности такой великой системы доктринъ не можетъ не возбуждать самаго напряженнаго любопытства. Говоря это, я вовсе не думаю

уменьшать значенія заслугъ новѣйшихъ астрономовъ; но для моей цѣли существенно важно указывать на подчиненность частныхъ истинъ общимъ и на разницу въ характерѣ и значеніи трудовъ тѣхъ, которые дѣйствовали прежде или послѣ открытія главной истины. Послѣ этой оговорки я приступаю къ моему разсказу.

§ 2. Пріемъ Ньютоновой Теоріи въ Англіи.

По общепринятому мнѣнію великія открытія обыкновенно встрѣчаются съ предубѣжденной и враждебной оппозиціей, и сами открыватели встрѣчаютъ только пренебреженіе и даже подвергаются преслѣдованіямъ. Но пріемъ открытій Ньютона въ Англіи составлялъ исключеніе изъ этого правила. Какъ мы уже видѣли, еще прежде обнародованія ихъ Галлей уже извѣщалъ объ нихъ, какъ о чемъ-то необыкновенно важномъ и тотчасъ послѣ ихъ обнародованія они быстро стали распространяться между различными классами мыслящихъ людей, въ той мѣрѣ какъ позволяла ихъ способность пониманія. Галлей, Вренъ и всѣ главные члены Королевскаго Общества приняли новую систему немедленно и съ жаромъ. Люди, занимавшіеся больше литературой, чѣмъ наукой, и неимѣвшіе знаній и умственныхъ качествъ, которыя требовались для основательнаго изученія системы, какъ наприм. Эвелинъ, Л о к к ъ [13]) и Пеписъ, приняли новую систему изъ довѣрія къ авторитету своихъ друзей математиковъ, глубоко уважали «Principia», также какъ и автора

нихъ. Спустя только 5 лѣтъ послѣ напечатанія этого сочиненія, принципы, заключающіеся въ немъ, уже проповѣдывались съ каѳедры, какъ непоколебимо доказанные и могущіе служить основаніемъ даже для теологическихъ аргументовъ. Это дѣлалъ именно Бентлей, когда онъ въ 1692 г. говорилъ въ Лондонѣ проповѣди о «Lectures» Бойля. Когда явилось сочиненіе Ньютона, то объ немъ никогда не говорили иначе, какъ съ глубокимъ удивленіемъ; и тотъ же Бентлей наприм. въ своей проповѣди (Serm. VII, p. 221) называлъ Ньютона «превосходнѣйшимъ и божественнымъ теоретикомъ». Тогда же явилась мысль, что правительство должно какимъ-нибудь образомъ наградить человѣка, который составлялъ честь націи. Но дѣло объ этомъ нѣсколько замедлилось и только въ 1695 г. его другъ Монтегю, впослѣдствіи графъ Галифаксъ, бывшій въ то время канцлеромъ Казначейства сдѣлалъ его монетнымъ надзирателемъ; а въ 1699 г. онъ получилъ высшее мѣсто главнаго начальника надъ монетнымъ вѣдомствомъ съ ежегоднымъ содержаніемъ въ 1500 фунт. стерл. и это мѣсто занималъ до самой смерти. Въ 1703 г. онъ сдѣланъ былъ президентомъ Королевскаго Общества и затѣмъ постоянно былъ избираемъ въ эту должность въ теченіе всѣхъ остальныхъ 25 лѣтъ своей жизни. Въ 1705 г. королева Анна, посѣтившая въ то время Кембриджскій университетъ, сдѣлала его кавалеромъ Ложи Мастеровъ при Trinity College. По вступленіи на престолъ Георга I, принцесса, впослѣдствіи королева Каролина, очень любившая философскія занятія, часто бесѣдовала съ Ньютономъ и часто говаривала, что она

считаетъ себя счастливою, что живетъ въ то время, когда ей есть возможность пользоваться обществомъ такого великаго генія. Его слава и уваженіе къ нему постоянно возрастали къ концу его жизни; и когда въ 1727 г. онъ, украшенный долголѣтіемъ и славой, окончилъ свое земное поприще, то его смерть принята была какъ національное бѣдствіе и сопровождалась почестями, обыкновенно воздаваемыми особамъ королевскаго дома. Его тѣло было выставлено въ Іерусалимской капеллѣ и затѣмъ въ Вестминстерскомъ Аббатствѣ, гдѣ покоятся величайшіе и мудрѣйшіе люди, какихъ производила Англія.

Не излишне будетъ сказать здѣсь нѣсколько словъ о томъ, какъ принято было ученіе Ньютона въ англійскихъ университетахъ. Эти университеты часто представляются мѣстами, въ которыхъ религіозное суевѣріе, ханжество и невѣжество противятся сколько возможно всякимъ новымъ истинамъ. Подобныя мнѣнія укоренились до такой степени, что ихъ раздѣляетъ даже такой разсудительный и вообще осторожный писатель, какъ профессоръ Плайферъ изъ Эдинбурга, и вслѣдствіе этого не можетъ никакимъ образомъ понять и истолковать событія, совершавшіяся въ Оксфордѣ и Кембриджѣ. Но, вопреки этимъ мнѣніямъ, мы увидимъ, что новыя воззрѣнія въ наукѣ и въ другихъ отдѣлахъ человѣческаго знанія принимаются въ англійскихъ университетахъ тотчасъ же, какъ только они устанавливаются и основательно доказываются, что въ англійскихъ университетахъ эти истины отъ немногихъ переходятъ ко многимъ гораздо скорѣе, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ, и что большей частью изъ

этихъ двухъ пунктовъ свѣтъ новооткрытыхъ истинъ распространяется по всей странѣ. Конечно во многихъ случаяхъ не обходилось безъ борьбы между старыми и новыми мнѣніями. Немногіе умы способны вдругъ оставить старую систему воззрѣній, къ которой они привыкли и съ которой сжились, и принять новые и совершенно чуждые имъ принципы тотчасъ же, какъ имъ укажутъ ихъ; между тѣмъ всякій понимаетъ, что одна перемѣна влечетъ за собой множество перемѣнъ и что всякая перемѣна сама по себѣ есть уже источникъ неудобства и опасности. Но, несмотря на это, ученіе Ньютона утвердилось въ Оксфордѣ и Кембриджѣ безъ малѣйшей борьбы. Картезіанизмъ, т. е. собственно гипотезы самого Декарта никогда не имѣли глубокихъ корней въ Англіи. Конечно книги съ картезіанскимъ направленіемъ, какъ напр. Физика Рого, были тамъ въ употребленіи и это имѣло свои основанія, потому что они заключали въ себѣ все, что можно было тогда найти лучшаго по физическимъ наукамъ, т. е. по механикѣ, гидростатикѣ, оптикѣ и формальной астрономіи. Но я не вижу, чтобы на университетскихъ лекціяхъ теоріи декартовскихъ вихрей придавалась какая-нибудь важность. Но во всякомъ случаѣ если онѣ и были у насъ, то скоро исчезли. Школа Ньютона и его университетъ гордились его славой и дѣлали все возможное для его поддержки и прославленія. Король самъ освободилъ его отъ обязанности исполнять всѣ тѣ внѣшнія занятія, которыя обыкновенно исполняютъ такъ-называемые Fellows въ Trinity College; его товарищи исполняли за него всѣ оффиціальности, которыя хоть малѣйшимъ образомъ могли мѣшать его уеди-

ненным занятіямъ, и онъ провелъ въ стѣнахъ университета 35 лѣтъ, за исключеніемъ одного мѣсяца. *) Въ 1688 г. университетъ выбралъ его своимъ представителемъ въ парламентъ и потомъ въ другой разъ въ 1701 г.; и хотя, послѣ распущенія парламента въ 1705 г., онъ и не былъ избранъ, но противившіеся его избранію признали однако, что онъ составляетъ славу университета и націи, что дѣло, для котораго дѣлаются выборы, есть чисто политическое и что они почитаютъ великія заслуги Ньютона и не хотятъ отвлекать его отъ его настоящаго дѣла.

Самые дѣятельные и даровитые умы въ Кембриджѣ тотчасъ же сдѣлались послѣдователями и учениками Ньютона. Самуилъ Кларкъ, впослѣдствіи его другъ, на публичномъ диспутѣ въ 1694 г. защищалъ тезисъ, взятый изъ философіи Ньютона; и въ 1697 г. напечаталъ изданіе Физики Рого съ примѣчаніями, въ которыхъ онъ говоритъ о Ньютонѣ съ великимъ уваженіемъ, хотя важнѣйшіе пункты «Principia» были введены въ нее только при слѣдующемъ изданіи въ 1703 г. Въ 1699 г. Бентлей, о которомъ мы уже говорили какъ о послѣдователѣ Ньютона, сдѣлался начальникомъ Trinity College; и въ томъ же году Уистонъ, другой ученикъ Ньютона, назначенъ былъ преемникомъ его на каѳедрѣ математики въ Кембрид-

*) Имя Ньютона не встрѣчается въ книгахъ коллегіи въ ряду лицъ, отправлявшихъ разныя внѣшнія оффиціальныя обязанности. Можетъ быть, однако, это происходило оттого, что онъ былъ луказіанскимъ профессоромъ. А что онъ постоянно жилъ въ университетѣ, это видно изъ сохранившейся доселѣ книги «exit et redit.»

жѣ. Уистонъ распространялъ ученіе Ньютона какъ съ профессорской каѳедры, такъ и въ сочиненіяхъ, писанныхъ имъ для употребленія въ университетѣ. Замѣчательно, что по поводу этого введенія ньютоновской системы въ высшую школу Кембриджа, возникъ споръ, вслѣдствіе нѣкоторыхъ оскорбительныхъ и бранныхъ выраженій, употребленныхъ въ мемуарѣ Уистона, написанныхъ имъ въ то время, когда онъ былъ удаленъ отъ профессорства при университетѣ и когда поэтому ко взглядамъ его относились недовѣрчиво и враждебно. Въ 1709 г. Лофтонъ, бывшій туторомъ въ Clare-Hall, получилъ, по просьбѣ своей, мѣсто такъ-называемаго модератора университетскихъ диспутовъ и въ этой должности содѣйствовалъ распространенію новыхъ математическихъ ученій. Около этого времени 1-е изданіе «Principia» сдѣлалось рѣдкимъ и продавалось по дорогой цѣнѣ; поэтому Бентлей побуждалъ Ньютона сдѣлать новое изданіе и Котесъ, одинъ изъ первыхъ математиковъ того времени въ Кембриджѣ, наблюдалъ за печатаніемъ этого изданія, и оно вышло въ 1713 г.

(2 изд.) [Мой обязательный нѣмецкій переводчикъ, Литтровъ, имѣлъ неосторожность повторить въ своемъ примѣчаніи выдумки нѣкоторыхъ новыхъ писателей о томъ, будтобы Кларкъ, въ своемъ изданіи Физики Рого, старался тайно и скрытно проводить ученіе Ньютона, потому будтобы, что не считалъ возможнымъ проводить ихъ прямо и открыто. Я увѣренъ, что всякій, кто займется этимъ предметомъ, увидитъ, что этотъ разсказъ объ этомъ предполагаемомъ нерасположеніи Кембриджскаго университета принимать ученіе Ньюто-

на есть чистая нелѣпость и доказываетъ только упорство предразсудка у тѣхъ, которые держатся такого мнѣнія. Ньютонъ, какъ при началѣ своего профессорства, такъ и во все время его, пользовался безпримѣрнымъ удивленіемъ всѣмъ современныхъ ему членовъ университета. Уистонъ, на котораго иногда указываютъ какъ на доказательство, свидѣтельствующее въ этомъ дѣлѣ противъ Кембриджа, говоритъ: «я съ необыкновенными усиліями занимался самымъ ревностнымъ изученіемъ удивительныхъ открытій сэра Исаака Ньютона, одну или двѣ лекціи котораго я уже слышалъ въ общественныхъ школахъ, хотя въ то время не понялъ ихъ». Что же касается Физики Рого, то она дѣйствительно заключала въ себѣ самыя лучшія механическія воззрѣнія того времени, доктрины, которыя Декартъ раздѣлялъ съ Галилеемъ и всѣми основательными математиками, слѣдовавшими за нимъ. Одно уже то говоритъ объ отсутствіи въ Кембриджскомъ университетѣ сильной антипатіи къ новизнѣ, что эта книга, которая была столь же нова по своимъ доктринамъ, какъ и «Principia» Ньютона, и которая была напечатана въ Парижѣ только въ 1671 г., прочно утвердилась въ университетѣ менѣе, чѣмъ чрезъ 20 лѣтъ. И въ примѣчаніяхъ къ ней Кларка нѣтъ ни малѣйшей попытки скрывать новость ньютоновыхъ открытій, а напротивъ выражается удивленіе къ нимъ именно какъ къ новымъ.

Готовность и быстрота, съ какой математики Кембриджскаго университета приняли въ XVII в. лучшія части механической философіи Декарта и великую философію Ньютона, могутъ равняться той готовно-

сти и скорости, съ какой въ наше время они приняли со всѣми слѣдствіями Математическую Теорію Теплоты Фурье и Лапласа и Волнообразную Теорію Свѣта Юнга и Френеля.

Въ коллегіи Кембриджа сохраняется вмѣстѣ съ другими предметами, напоминающими о Ньютонѣ, въ числѣ коихъ находятся два локона его серебристыхъ волосъ, его собственноручная записка, описывающая приготовительное чтеніе, которое было необходимо для того, чтобы студенты его коллегіи могли понимать «Principia». Я напечаталъ эту записку въ латинскомъ оригиналѣ въ предисловіи къ моему изданію первыхъ трехъ отдѣловъ «Principia» (1846).

Бентлей, выражавшій удивленіе предъ Ньютономъ въ своихъ чтеніяхъ о Бойлѣ въ 1692 г., былъ сдѣланъ, какъ я уже сказалъ, начальникомъ коллегіи и этимъ безъ сомнѣнія отчасти былъ обязанъ своимъ чтеніямъ въ ньютоновскомъ духѣ. Во все время начальствованія въ коллегіи онъ ревностно поощрялъ и поддерживалъ труды Котеса, Уистона и другихъ учениковъ Ньютона. Смитъ, преемникъ Бентлея, поставилъ статую Ньютона въ капеллѣ коллегіи работы Рубильяка съ надписью: «qui genus humanum ingenio superavit».]

Въ Оксфордѣ Давидъ Грегори и Галлей, оба ревностные и отличные ученики Ньютона, получили савеліанскія профессуры астрономіи и геометріи въ 1691 и въ 1703.

Давидъ Грегори напечаталъ въ Оксфордѣ въ 1702 г. «Astronomiae Physicae et Geometricae Elementa». Авторъ въ самомъ началѣ предисловія говоритъ, что цѣлью

его было объяснить механику вселенной, которую Исаакъ Ньютонъ, Князь Геометровъ, поднялъ на такую высоту, что на нее всѣ смотрятъ съ удивленіемъ. И въ самой книгѣ находится подробное изложеніе принциповъ Ньютона и ихъ результатовъ. Кейль, ученикъ Грегори, былъ послѣ него туторомъ въ Оксфордѣ и излагалъ тамъ ньютоновскую систему въ 1700 г., будучи помощникомъ савеліанскаго профессора. Онъ свои чтенія сопровождалъ опытами и напечаталъ введеніе въ «Principia», которое и до сихъ поръ не потеряло своей цѣны. Въ Шотландіи ньютоновская система была принята очень скоро, какъ можно судить по примѣру Грегори и Кейля. Давидъ Грегори, до перехода въ Оксфордъ, былъ профессоромъ въ Эдинбургѣ, гдѣ на его мѣсто поступилъ его братъ Джемсъ. Послѣдній уже въ 1690 г. издалъ трактатъ, состоявшій изъ 22 отдѣленій, содержавшихъ въ себѣ сокращеніе «Principia» Ньютона *). Вѣроятно эти отдѣленія были сдѣланы для того, чтобы служить тезисами для университетскихъ диспутовъ, по примѣру того, какъ Лофтонъ въ Кембриджѣ ввелъ ньютоновскую систему въ

*) См. Hutton's *Math Dict.*, статья «James Gregory». Еслибы въ мой планъ входило указывать на сочиненія, поводъ къ которымъ подали «Principia», то я могъ бы назвать превосходный «Account of Sir Isaac Newton's discoveries» Маклорена, напечатанный въ 1748 г. Это и до сихъ поръ самая лучшая книга объ этомъ предметѣ. Сочиненіе профессора Риго «Historical Essay on the First publication of Sir Isaac Newton's Principia» (Оксфордъ 1838) заключаетъ въ себѣ обстоятельное и ясное изложеніе исторіи Ньютоновыхъ открытій.

эти диспуты. Формула, употреблявшаяся еще весьма недавно въ Кембриджѣ на подобныхъ диспутахъ, была такова «recte statuit Newtonus de Motu Lunae»; были и другія формулы въ подобномъ родѣ.

Воззрѣнія Ньютона повсюду распространялись въ Англіи, нетолько посредствомъ книгъ, но и посредствомъ чтеній разныхъ экспериментаторовъ, подобныхъ Дезагильеру, который въ 1713 г. прибылъ изъ Оксфорда въ Лондонъ, гдѣ онъ, по его словамъ, увидѣлъ, что ньютоновская философія распространялась между лицами всѣхъ званій и состояній, и даже между женщинами, при посредствѣ опытовъ.

Мы можемъ легко найти въ нашей литературѣ указаніе на постепенное распространеніе въ ней теоріи Ньютона; напр. въ первыхъ изданіяхъ Дунсіады Попа, въ описаніи царства глупости находятся такіе стихи:

Философія, которая прежде стремилась къ небу,
Теперь съеживается на своей тайной причинѣ и уже болѣе не существуетъ.

«Это», по словамъ ея издателя Варбуртона, «была насмѣшка надъ ньютоновской философіей. Потому что поэтъ, на основаніи ложныхъ толкованій нѣкоторыхъ иностранныхъ ученыхъ, воображалъ, будтобы система Ньютона хочетъ воскресить тайныя причины Аристотеля. Это ложное представленіе онъ заимствовалъ отъ человѣка, воспитаннаго за границей, который много читалъ, но все поверхностно *). Когда я разъяснилъ ему, что онъ ошибается, то онъ съ удовольствіемъ

*) Вѣроятно здѣсь разумѣется Болингброкъ



перемѣнилъ эти стихи на комплиментъ божественному генію и на сатиру на того, кто его ввелъ въ заблужденіе.» Въ 1743 г. было напечатано:

Философія, которая прежде поднималась къ небу,
Теперь съеживается на ея второй причинѣ и уже болѣе не существуетъ.

Послѣдователи Ньютона отвергали взводимое на нихъ обвиненіе, будтобы они принимаютъ въ своей системѣ скрытыя причины *) и, относя тяжесть къ волѣ Божества, какъ Первой Причинѣ, гордились надъ тѣми философами, которые ограничивались только вторыми причинами.

Единственное, сколько-нибудь важное исключеніе изъ этого радушнаго пріема, какой встрѣтила у англійскихъ астрономовъ ньютонова теорія, представляетъ Флемстидъ, королевскій астрономъ, самый усердный и точный наблюдатель. Флемстидъ сначала съ удовольствіемъ принималъ тѣ обѣщані яулучшеній въ Лунныхъ Таблицахъ, которыя давала новая теорія, и былъ готовъ помогать Ньютону также какъ и отъ него принимать помощь. Но чрезъ нѣсколько времени онъ потерялъ всякое уваженіе къ теоріи Ньютона и пересталъ вовсе интересоваться ею. Въ письмѣ одному изъ своихъ корреспондентовъ онъ объявилъ, что онъ рѣшился совершенно отложить въ сторону «всѣ эти выдумки Ньютона». **) Мы не видимъ въ этомъ ничего особеннаго и непонятнаго, такъ какъ Флемстидъ, хотя былъ хорошимъ

*) См. напр. пред. Котеса къ «Principia».
**) Baily's *Account of Flamsteed*, etc. p. 309.

наблюдателемъ, но вовсе не былъ математикомъ, что онъ изъ математической теоріи понималъ только алгебраическія формулы результатовъ и совершенно неспособенъ былъ понять цѣль ньютоновской теоріи, которая указывала нетолько формулы или правила, но и причины и удовлетворяла требованіямъ какъ механики, такъ и геометріи.

(2 изд.) [Я не вижу никакого основанія измѣнять то, что мной здѣсь сказано; но я долженъ особенно выставить на видъ то, что отрицаніе Флемстидомъ формъ или правилъ Ньютона не заключаетъ въ себѣ ученія о тяготѣніи. Въ вышеупомянутомъ письмѣ Флемстидъ говоритъ, что онъ «занимался наблюденіями надъ луной и что небесныя явленія противорѣчатъ VI формулѣ луннаго возмущенія или неравенства сэра Ньютона, которую Грегори называетъ его именемъ: я тогда сравнилъ только 72 моихъ наблюденія съ лунными таблицами, а теперь я свѣрилъ ихъ болѣе 100. Я нахожу, что всѣ они говорятъ одно и тоже (т. е. противорѣчатъ формулѣ Ньютона), такъ же какъ и VII формула возмущенія». И затѣмъ онъ высказываетъ рѣшеніе, которое приведено выше.

Впослѣдствіи Флемстидъ, какъ я уже сказалъ, съ готовностью принялъ указанія Ньютона и сообразовался съ ними въ своихъ собственныхъ наблюденіяхъ и теоріяхъ. Вычисленіе лунныхъ неравенствъ, на основаніи теоріи луннаго тяготѣнія, оказалось болѣе труднымъ для Ньютона и его послѣдователей, чѣмъ онъ предполагалъ, и было доведено до конца не безъ многихъ погрѣшностей и ошибокъ. Такъ напр. одна изъ формулъ, напечатанная въ «Astronomiae Elementa» Гре-

гори, давала невѣрныя указанія. И когда Ньютонъ представилъ всѣ формулы, то Флемстидъ нашелъ, что онѣ не имѣютъ той степени точности, какая нужна была имъ для того, чтобы онѣ могли опредѣлять положеніе луны приблизительно вѣрное на двѣ или на три минуты. Но этой степени точности можно было достигнуть только гораздо позже.

Бейли, которому астрономія и астрономическая литература обязаны многимъ, въ своемъ «Supplement to the Account of Flamsteed», разобралъ тщательно и безпристрастно то мнѣніе, будто Флемстидъ не понималъ теоріи Ньютона. Онъ замѣчаетъ весьма основательно, что то, что самъ Ньютонъ выдавалъ сначала какъ свою теорію, можно было назвать скорѣе формулами или Правилами для вычисленія лунныхъ таблицъ, чѣмъ физической Теоріей въ новѣйшемъ значеніи этого термина. Онъ показываетъ также, что Флемстидъ внимательно читалъ «Principia» («Supp.» p. 691). Но когда мы знаемъ, что другіе математики и астрономы какъ напр. Галлей, Давидъ Грегори и Котесъ, смотрѣли на ученіе Ньютона нетолько какъ на источникъ вѣрныхъ формулъ, но и какъ на величественное физическое открытіе, то мы обязаны, я полагаю, исключить въ этомъ отношеніи Флемстида изъ перваго разряда астрономовъ его времени.

Зато мнѣ кажется не вполнѣ основательнымъ и доказаннымъ мнѣніе Бейли, будтобы тѣ формулы, какія были найдены для поправки луннаго апогея и узла, были выведены изъ таблицы наблюденій Флемстида, независимо отъ указаній на нихъ Ньютона, какъ на результаты его теоріи («Supp.» p. 692 прим. и p. 698).]

(3-е изд.) [*Пріемъ Ньютоновыхъ «Principia».*— Лордъ Брумъ недавно («Analytical View of Sir Isaac Newton's «Principia» 1855) обнаружилъ сильное расположеніе вѣрить тому, что̀, какъ онъ говоритъ, весьма часто высказывалось и доказывалось, именно будто пріемъ «Principia» даже въ Англіи былъ «не таковъ, какъ можно было бы ожидать.» Въ опровержение фактовъ, на которые я указалъ какъ на доказательства высокаго уваженія, которымъ пользовался Ньютонъ тотчасъ послѣ появленія «Principia», онъ говоритъ, что Ньютонъ еще прежде пріобрѣлъ себѣ славу своими прежними открытіями. Это вѣрно: и то, что сдѣлали соотечественники Ньютона, видя эту славу, дѣлаетъ имъ большую честь; именно они встрѣтили съ восторгомъ и одобреніемъ новое и величайшее открытіе уже знаменитаго человѣка. Лордъ Брумъ прибавляетъ, что «послѣ появленія «Principia» имъ больше удивлялись, чѣмъ изучали ихъ», что̀ вѣроятно справедливо и относительно «Principia», какъ относительно всѣхъ великихъ произведеній, столь новыхъ и трудныхъ, появлявшихся во всѣ великіе періоды. Но, разсуждаетъ еще лордъ Брумъ, «немного говоритъ въ пользу хорошаго пріема этого сочиненія и время, протекшее между двумя первыми его изданіями. Промежутокъ между этими изданіями былъ не меньше 27 лѣтъ; и хотя Котесъ (въ своемъ предисловіи) и говоритъ, что трудно было достать экземпляръ этого сочиненія и оно было въ большомъ спросѣ, когда явилось второе изданіе въ 1713 г.; однако еслибъ потребность въ немъ и спросъ на него были велики въ теченіе многихъ лѣтъ, то второе изданіе сдѣлано бы-

ло бы скорѣе и не оттянулось бы такъ на долго.» Изъ біографіи Ньютона («Life of Newton», vol. I, p. 312) сэра Давида Брьюстера, котораго лордъ Брумъ такъ превозноситъ, онъ долженъ былъ бы знать, что уже въ 1691 г. (стало быть спустя только 4 года послѣ перваго изданія) трудно было достать экземпляръ «Principia», и что уже въ то время имѣлось въ виду новое исправленное изданіе его; что друзья Ньютона просили его сдѣлать это изданіе, но онъ отказался.

Когда Бентлей убѣдилъ Ньютона согласиться на новое изданіе, то онъ съ восторгомъ сообщилъ объ этомъ Котесу, который взялся наблюдать за печатаніемъ сочиненія. Въ тоже время астрономія Давида Грегори, напечатанная въ 1702 г., показываетъ на каждой страницѣ, до какой степени были хорошо извѣстны англійскимъ естествоиспытателямъ и математикамъ воззрѣнія Ньютона; она имѣла въ виду еще больше распространить ихъ, какъ это дѣлалъ и самъ Бентлей въ своихъ проповѣдяхъ въ 1692 г.

Современники и сотоварищи Ньютона въ Кембриджѣ также принимали участіе въ распространеніи «Principia». Рукописный списокъ этого сочиненія былъ посланъ Королевскому обществу (28 апрѣля 1686) Винцентомъ, бывшимъ fellow въ Клеръ-голлѣ и помощникомъ Ньютона по профессорству; представляя обществу сочиненіе, онъ выставляетъ на видъ новость и важность его предмета. Въ библіотекѣ Кембриджскаго университета существуетъ рукопись, заключающая въ себѣ раннія положенія «Principia», напр. XXXIII о падающихъ тѣлахъ, составляющее часть VII отдѣла. Оно

вѣроятно было записано на лекціяхъ Ньютона, которыя онъ читалъ въ качествѣ луказіанскаго профессора. Рукопись помѣчена 1684 г. окт.]

---

§ 3. Пріемъ Ньютоновой системы за границей.

Теорія Ньютона была принята на Континентѣ гораздо позже и неохотнѣе, чѣмъ на ея родномъ островѣ. Даже тѣ, которые по своимъ математическимъ познаніямъ болѣе всѣхъ способны были понять ея доказательства, долгое время удерживались разными предразсудками и разными взглядами отъ признанія ея научной системой. Таковы были напр. Лейбницъ, Бернулли и Гюйгенсъ, которые признавали теорію вихрей въ измѣненномъ ея видѣ. Во Франціи картезіанская система сильно распространилась и стала популярной, такъ какъ ее рекомендовалъ Фонтенель своимъ прекраснымъ слогомъ, и господство ея въ этой странѣ было такъ твердо и прочно, что она долгое время сопротивлялась напору ньютоновскихъ аргументовъ. И въ самомъ дѣлѣ ньютоновскія мнѣнія не имѣли почти ни одного приверженца во Франціи, пока Вольтеръ, по возвращеніи своемъ изъ Англіи, въ 1728 г., не обратилъ на нихъ общаго вниманія. А до тѣхъ поръ, какъ онъ самъ говоритъ, едвали можно было найти внѣ Англіи десятка два ньютоніанцевъ.

То сильное вліяніе, какое имѣла философія Декарта на умы его земляковъ, не должно казаться удивительнымъ. Ему принадлежитъ та великая заслуга въ исторіи науки, что онъ совершенно разрушилъ ари-

стотелевскую систему и ввелъ новую философію, основанную на понятіи о массѣ и движеніи. Во всѣхъ отрасляхъ математики, его послѣдователи, какъ мы уже сказали, были лучшими руководителями, какихъ только можно было найти тогда. Его гипотеза вихрей, придуманная для объясненія небесныхъ движеній, имѣла кажущееся преимущество надъ ученіемъ Ньютона въ томъ отношеніи, что она объясняла явленія самой понятной и самой привычной для ума механической причиной, именно давленіемъ и толчкомъ. И кромѣ того, система Декарта нравилась многимъ умамъ потому, что она будтобы, какъ воображали тогда, выведена рядомъ необходимыхъ слѣдствій изъ немногихъ простыхъ принциповъ и такимъ образомъ прямо связана была съ метафизическими и теологическими спекуляціями. Мы можемъ еще прибавить, что ея послѣдователи математики измѣнили и улучшили ее такъ, что это устраняло большую часть приводившихся противъ нея возраженій. Вихрь, вращающійся вокругъ центра, можетъ быть такимъ механизмомъ, какъ тогда воображали, который самъ собой произведетъ въ тѣлахъ стремленіе къ центру. Поэтому во всѣхъ случаяхъ, гдѣ дѣйствовали центральныя силы, предполагался такой вихрь; и при выводѣ результатовъ изъ этой гипотезы легко было оставить безъ вниманія всѣ другія дѣйствія вихря и имѣть въ виду только центральную силу и, если это удавалось, то картезіанскій математикъ могъ приложить къ своей проблемѣ механическіе принципы, хоть сколько-нибудь основательные. Это соображеніе можетъ до нѣкоторой степени объяснить тотъ на первый взглядъ странный фактъ,

что языкъ французскихъ математиковъ оставался у картезіанцевъ почти еще полстолѣтія послѣ обнародованія «Principia» Ньютона.

Но несмотря на это уже въ то время шла борьба между этими двумя противоположными воззрѣніями, и каждый день представлялись непреодолимыя трудности, съ какими должны были бороться картезіанцы. Ньютонъ въ «Principia» помѣстилъ цѣлый рядъ положеній, цѣлью которыхъ было доказать, что механизмъ вихрей не можетъ быть примѣненъ къ объясненію одной части небесныхъ явленій безъ того, чтобы онъ не противорѣчилъ другой. Но самымъ очевиднымъ возраженіемъ была тяжесть земли: если эта сила, какъ утверждалъ Декартъ, зависитъ отъ вращенія земнаго вихря вокругъ его оси, то направленіе этой силы должно быть прямо къ этой оси, а не къ центру. Приверженцы вихрей нѣсколько разъ пробовали свое искусство для устраненія этой несообразности въ гипотезѣ, но никогда не имѣли успѣха. Гюйгенсъ предполагалъ, что эѳирная масса вихрей движется вокругъ центра во всѣхъ направленіяхъ. Перро воображалъ, что скорость вращенія концентрическихъ слоевъ, изъ которыхъ состоятъ вихри, возрастаетъ по мѣрѣ удаленія ихъ отъ центра. Соренъ думалъ, что вокругъ лежащее сопротивленіе, обнимающее вихрь, производитъ давленіе, направляющееся къ центру. Эллиптическая форма планетъ была другимъ возраженіемъ противъ системы вихрей. Декартъ предполагалъ, что вихри сами по себѣ имѣютъ эллиптическую форму; но другіе, какъ напр. Иванъ Бернулли, придумывали всѣ способы, какъ бы произвести эллиптическое движеніе въ круговыхъ вихряхъ.

Извѣстные математическіе вопросы, предложенные на премію Французской Академіи, естественно должны были привести въ столкновеніе двѣ враждебныя системы. Картезіанскій мемуаръ Ивана Бернулли, о которомъ мы только-что упомянули, получилъ премію въ 1730 г. Часто бывало, что Академія, желая показать свое безпристрастіе, дѣлила свои преміи между картезіанцами и ньютоніанцами. Такимъ образомъ въ 1734 г., когда на премію былъ предложенъ вопросъ о причинахъ наклоненія планетныхъ орбитъ, премія была раздѣлена между Иваномъ Бернулли, котораго мемуаръ былъ основанъ на системѣ вихрей, и его сыномъ Даніиломъ, который причислялся къ ньютоніанцамъ. Послѣдняя честь этого рода была оказана картезіанской системѣ въ 1740 г., когда премія, назначенная за объясненіе приливовъ и отливовъ, была раздѣлена между Даніиломъ Бернулли, Эйлеромъ, Маклореномъ и Кавальери, изъ которыхъ послѣдній развивалъ и дополнялъ картезіанскую гипотезу объ этомъ предметѣ.

Такимъ образомъ система Ньютона не принималась во Франціи до тѣхъ поръ, пока не вымерло совершенно картезіанское поколѣніе. Фонтенель, долгое время бывшій секретаремъ парижской академіи, остался картезіанцемъ до самой смерти своей. Однако были и исключенія; напр. астрономъ Делиль, котораго Петръ Великій приглашалъ въ Россію для основанія академіи наукъ въ Петербургѣ; онъ посѣтилъ въ 1724 г. Англію и получилъ отъ Ньютона портретъ его, а отъ Галлея таблицы. Но вообще въ теченіе этого періода Англія и Франція имѣли различныя мнѣнія обо всѣхъ

предметахъ физики. Вольтеръ, посѣтившій Англію въ 1727 г., очень живо описываетъ эту разницу во мнѣніяхъ. «Когда французъ пріѣзжаетъ въ Лондонъ, говоритъ онъ, то находитъ здѣсь большую разницу какъ въ философіи, такъ и во всемъ другомъ. Въ Парижѣ, изъ котораго онъ пріѣхалъ, думаютъ, что міръ наполненъ матеріей, здѣсь же ему говорятъ, что онъ совершенно пустъ; въ Парижѣ вы видите, что вся вселенная состоитъ изъ вихрей тонкой матеріи, въ Лондонѣ же вы не видите ничего подобнаго; во Франціи давленіе луны производитъ приливы и отливы моря, въ Англіи же говорятъ, что это само море тяготѣетъ къ лунѣ, такъ что, когда парижане получаютъ отъ луны приливъ, лондонскіе джентльмены думаютъ, что они должны имѣть отливъ. Къ несчастью этотъ споръ не можетъ быть рѣшенъ опытомъ, потому что для этого мы должны были бы наблюдать луну такъ же какъ приливы и отливы, въ самый моментъ ихъ творенія. Вы замѣтите также, что солнце, которое во Франціи вовсе не участвуетъ въ этой работѣ, въ Англіи исполняетъ цѣлую четверть ея. У васъ картезіанцы говорятъ, что все совершается вслѣдствіе давленія, и этого мы не понимаемъ; здѣсь же ньютоніанцы говорятъ, что все совершается вслѣдствіе притяженія, которое мы не лучше понимаемъ. Въ Парижѣ вы воображаете, что земля у полюсовъ нѣсколько удлинена какъ яйцо, тогда какъ въ Лондонѣ представляютъ ее сплюснутой какъ дыня.»

Но самъ же Вольтеръ, какъ мы уже сказали, много содѣйствовалъ распространенію во Франціи ньютоновскаго ученія. Канцлеръ Д'Агессо, картезіанецъ, снача-

ла не давалъ ему позволенія печатать его «Elements de la Philosophie de Newton». Но послѣ появленія этого сочиненія въ 1738 г. и другихъ его сочиненій объ этомъ же предметѣ картезіанское зданіе, уже не имѣвшее прочности и опоры, разрушилось и исчезло. Первый мемуаръ въ изданіяхъ Парижской Академіи, который приложилъ ученіе о центральныхъ силахъ къ солнечной системѣ, принадлежитъ Шевалье Лувилю въ 1720 г. и носитъ такое заглавіе: «О составленіи и Теоріи Солнечныхъ Таблицъ». Однако въ этомъ сочиненіи способъ объясненія движенія планетъ посредствомъ первоначальнаго толчка и постоянно дѣйствующей притягательной силы солнца приписанъ Кеплеру, а не Ньютону. Первый французскій мемуаръ, разсуждающій о всеобщемъ тяготѣніи матеріи, былъ изданъ Мопертюи въ 1736 г. Впрочемъ и до этого времени Ньютонъ былъ извѣстенъ и уважаемъ во Франціи. Въ 1699 г. онъ былъ принятъ въ числѣ очень немногихъ иностранныхъ членовъ въ Парижскую Академію Наукъ. Даже Фонтенель, который, какъ мы уже сказали, никогда не раздѣлялъ его воззрѣній, однако въ похвальномъ словѣ, сочиненномъ по случаю его смерти, говорилъ объ немъ съ большимъ уваженіемъ. Впослѣдствіи Фонтенель даже преклонился предъ славой Ньютона. Слѣдующее мѣсто, я полагаю, относится къ Ньютону. Въ исторіи Академіи Наукъ за 1708 г. онъ говоритъ по поводу трудностей, какія представляетъ для картезіанскихъ гипотезъ движеніе кометъ: «мы можемъ сразу избавиться отъ тѣхъ трудностей, какія возникаютъ для насъ отъ направленія движеній кометъ, если отбросимъ въ сторону, какъ это уже и сдѣ-

лалъ одинъ изъ величайшихъ геніевъ нашего вѣка, всю эту безграничную жидкую матерію и будемъ представлять себѣ, что планеты плаваютъ въ совершенно пустомъ міровомъ пространствѣ.»

Кометы, какъ видно изъ приведеннаго мѣста, были тяжелой артиллеріей, противъ которой не могла устоять картезіанская гипотеза о наполненномъ міровомъ пространствѣ. Когда оказалось, что пути этихъ блуждающихъ небесныхъ тѣлъ пересѣкаютъ вихри во всѣхъ направленіяхъ, тогда уже невозможно было продолжать утверждать, что эти воображаемые потоки или вихри управляютъ движеніями тѣлъ, погруженныхъ въ нихъ; и весь механизмъ вихрей уже не имѣлъ дѣйствительнаго значенія. Эти необыкновенныя тѣла и многія другія явленія стали предметомъ сильнаго и общаго интереса именно вслѣдствіе споровъ между двумя партіями; и такимъ образомъ прежнее преобладаніе картезіанской системы уже не могло служить серьёзнымъ препятствіемъ распространенію истинныхъ знаній. Во многихъ случаяхъ картезіанизмъ дѣйствительно удерживалъ людей отъ принятія истины, какъ напр. въ изслѣдованіяхъ объ уклоненіи кометъ отъ общаго всѣмъ планетамъ движенія по зодіаку, и еще въ открытіи Рёмера, который доказалъ, что свѣтъ распространяется не мгновенно. Но это самое заставляло ученыхъ еще ревностнѣе заниматься наблюденіями и вычисленіями; и такимъ образомъ само собой подвигалось впередъ дѣло подтвержденія и дальнѣйшаго развитія теоріи Ньютона, о которомъ мы и будемъ говорить теперь.

ГЛАВА IV.

Продолженіе Слѣдствій Эпохи Ньютона.—Подтвержденіе и Дополненіе Ньютоновой Системы.

---

§ 1. Раздѣленіе Предмета.

ПОВѢРКА и подтвержденіе Закона Всеобщаго Тяготѣнія, какъ принципа господствующаго надъ всѣми космическими явленіями, повели, какъ мы уже говорили, ко множеству разнообразныхъ изслѣдованій продолжительныхъ и трудныхъ, которыя мы и должны послѣдовательно разсмотрѣть теперь. Это изслѣдованія о движеніи Луны, Солнца, Планетъ, Спутниковъ и Кометъ. Мы должны разсмотрѣть отдѣльно изслѣдованія о вѣковыхъ неравенствахъ или колебаніяхъ, которыя на первый взглядъ, кажется, слѣдуютъ особымъ законамъ, отличнымъ отъ законовъ другихъ космическихъ движеній. Затѣмъ мы должны говорить о вліяніи, какое имѣлъ общій принципъ на изслѣдованія о Землѣ, о ея Фигурѣ, о величинѣ Тяжести въ разныхъ мѣстахъ и о Приливахъ и Отливахъ. Каждый изъ этихъ

предметовъ представитъ что-нибудь въ подтвержденіе общаго закона; но въ каждомъ изъ нихъ подтвержденіе представляло свои особенныя трудности и имѣло свою особую исторію. Нашъ очеркъ этой исторіи будетъ очень бѣглымъ, потому что наша цѣль состоитъ только въ томъ, чтобы показать способъ и ходъ подтвержденія, какого требовала и какой получила эта исторія.

По той же самой причинѣ мы не будемъ говорить о многихъ событіяхъ этого періода, весьма важныхъ въ исторіи астрономіи. Для насъ и даже для обыкновенныхъ читателей они потеряли много интереса, потому что они относятся къ тому классу предметовъ, съ которымъ мы уже ознакомились, составляютъ истины, заключающіяся въ другихъ болѣе общихъ истинахъ, на которыхъ уже по преимуществу останавливались наши взоры. Такимъ образомъ напр. открытіе новыхъ спутниковъ и планетъ есть только повтореніе того, что сдѣлано было Галилеемъ. Также точно опредѣленіе ихъ узловъ и апсидъ, приведеніе ихъ движеній къ закону эллипсиса представляютъ только примѣры, похожіе на открытіе Кеплера. Но если смотрѣть на дѣло съ другой точки зрѣнія, то составленіе таблицъ спутниковъ Юпитера и Сатурна, открытіе эксцентрицитетовъ орбитъ и движенія узловъ и апсидъ, сдѣланныя Кассини, Галлеемъ и другими, сами по себѣ могутъ стоять на ряду съ великими событіями въ астрономіи. Особенная заслуга Ньютона для составленія таблицъ небесныхъ движеній, состоитъ въ томъ, что онъ открылъ путь къ опредѣленію возмущеній въ этихъ движеніяхъ. Къ разсмотрѣнію этихъ движеній,

видоизмѣняемыхъ возмущеніями, мы и переходимъ теперь.

§ 2. Приложеніе Ньютоновой Теоріи къ Лунѣ.

Мы прежде всего будемъ говорить о Движеніяхъ Луны, такъ какъ объясненія ихъ составляютъ самое очевидное и важное примѣненіе теоріи Ньютона. Повѣрка этой теоріи, какъ мы видѣли во многихъ случаяхъ, заключается въ составленіи таблицъ на основаніи теоріи и потомъ въ сравненіи ихъ съ таблицами, составленными на основаніи наблюденій. Быстрый прогрессъ астрономіи уже былъ достаточнымъ побужденіемъ къ этой трудной работѣ составленія таблицъ; но были и другія причины, сильно побуждавшія астрономовъ къ этому; совершенная Лунная Теорія, если она вообще возможна, дала бы вѣрнѣйшее средство для опредѣленія Долготы каждаго мѣста на земной поверхности. Такимъ образомъ повѣрка теоріи въ ея основаніяхъ стала вмѣстѣ съ тѣмъ предметомъ, имѣвшимъ непосредственное практическое значеніе и громадную важность для мореплавателей и географовъ. Уже прежде народы и государи считали стоющимъ большихъ денегъ методъ для точнаго опредѣленія долготы каждаго мѣста. Голландцы старались побудить къ этому дѣлу Галилея предложеніемъ ему въ награду золотой цѣпи. Филиппъ III испанскій еще прежде обѣщалъ за это дѣло большое вознагражденіе *). Англійскій парламентъ предлагалъ 20,000 фунт. стерл., а чрезъ два года регентъ,

*) Delambre, *Astr. Moyen Age*, I, 39, 66.

герцогъ Орлеанскій 100,000 фунтовъ за то же дѣло. Эти преміи, въ соединеніи съ любовью къ истинѣ и къ славѣ, постоянно держали этотъ предметъ предъ глазами математиковъ въ теченіе первой половины послѣдняго столѣтія.

Еслибы таблицы были составлены въ такой степени вѣрно, чтобы онѣ опредѣляли съ совершенной точностью дѣйствительное положеніе луны на небѣ во всякое время такъ, какъ она видна съ мѣста обсерваторіи, то наблюденіе и опредѣленіе ея видимаго положенія, какъ она видна съ какого-нибудь другаго мѣста на земной поверхности, дали бы возможность наблюдателю опредѣлить долготу этого мѣста по его разстоянію отъ обсерваторіи. Но до сихъ поръ таблицы луны показывали ея положеніе несогласно съ наблюденіями и цѣль, которой ожидали отъ таблицъ не достигалась. Ньютонъ открылъ причину несогласія. Онъ показалъ, что та же самая сила, которая производитъ Эвекцію, Варіацію и Годовую Эквацію или уравненіе, должна производить также длинный рядъ другихъ Неравенствъ или возмущеній различной величины и различныхъ періодовъ, которыя увлекаютъ луну ближе или дальше того мѣста, на которомъ она должна была бы находиться по вычисленіямъ астрономовъ, знающихъ только первыя главныя очевидныя неравенства. Но вычисленіе и приложеніе вторыхъ, новыхъ неравенствъ было не легкимъ дѣломъ.

Въ первомъ изданіи «Principia» въ 1687 г. Ньютонъ не представилъ никакихъ вычисленій относительно этихъ новыхъ неравенствъ, измѣняющихъ положеніе луны. Но въ «Elements of Physical and Geometri-

cal Astronomy» Давида Грегори, напечатанных въ 1702 г., помѣщена «теорія луны Ньютона, приложенная къ практикѣ имъ самимъ», въ которой великій открыватель представилъ свои вычисленія 8 неравенствъ или возмущеній луны съ опредѣленіемъ ихъ величины, эпохъ и періодовъ. Эти вычисленія долгое время служили основаніемъ для новыхъ таблицъ луны, издававшихся разными лицами *); напр. Делилемъ въ 1715 или 1716 г., Грамматици въ Ингольштатѣ въ 1726, Врайтомъ въ 1732, Анжело Капелли въ Венеціи въ 1733, Дунторномъ въ Кембриджѣ въ 1739.

Флемстидъ составилъ Таблицы Луны на основаніи теоріи Горрокса въ 1681 г. и желалъ исправить ихъ; и хотя онъ, какъ мы видѣли, не могъ или не хотѣлъ принять ученія Ньютона во всемъ его объемѣ, однако Ньютонъ сообщилъ этому наблюдателю свою теорію въ томъ видѣ, въ какомъ онъ могъ понять ее и пользоваться ею **): и Флемстидъ воспользовался его указаніями при составленіи новыхъ таблицъ луны, которыя онъ назвалъ своею «Теоріею». Но эти таблицы были напечатаны уже послѣ его смерти Лемонньe въ Парижѣ въ 1746 г. Лаландъ говоритъ объ нихъ †), что онѣ немногимъ разнятся отъ таблицъ Галлея. Таблицы луны Галлея были напечатаны въ 1719 или 1720 г., но публикованы были только послѣ его смерти въ 1749 г. Онѣ были составлены на основаніи наблюденій Флемстида и его собственныхъ; и когда въ

*) Laland, *Astronom.* § 1459.

**) Baily, *Account of Flamsteed*, p. 72.

†) Lal. *Astron.* § 1459.

1720 г. Галлей сдѣланъ былъ послѣ Флемстида Королевскимъ Астрономомъ въ Гринвичѣ и увидѣлъ, что онъ имѣлъ въ рукахъ своихъ всѣ средства для исправленія своихъ прежнихъ работъ, и началъ печатать то, что было у него совершенно готово *).

Галлей еще прежде предложилъ методъ для исправленія Лунныхъ Таблицъ отличный отъ метода Ньютона, но составленный очень остроумно. Онъ предлагалъ для этого циклъ, о которомъ мы уже упоминали, какъ объ одномъ изъ самыхъ раннихъ открытій астрономіи, т. е. Періодъ изъ 223 лунныхъ обращеній, или 18 лѣтъ и 11 дней. Этотъ періодъ, или такъ-называемый Халдейскій Саросъ уже въ древности употреблялся для предсказыванія солнечныхъ и лунныхъ затмѣній; потому что затмѣнія, случающіяся въ теченіе одного изъ этихъ періодовъ, повторяются въ одномъ и томъ же порядкѣ, въ одинъ и тотъ же день и почти при одинаковыхъ обстоятельствахъ и въ другомъ

*) Бейли (Supplement to the Account of Flamsteed) говоритъ, что новыя таблицы луны Майера 1753, напечатанныя спустя 50 лѣтъ послѣ астрономіи Грегори, могутъ считаться первыми лунными таблицами, основанными единственно на принципахъ Ньютона. Хотя Райтъ и напечаталъ въ 1732 г., что его новыя исправленныя таблицы лунныхъ движеній составлены по теоріи Ньютона, однако формулы Ньютона были приложены къ нимъ только отчасти. Въ 1735 г. Лидбеттеръ публиковалъ свою «Uranoscopia», въ которой формулы Ньютона получили болѣе полное приложеніе. Но эти Ньютоніанскія таблицы не вытѣснили изъ употребленія таблицъ Флемстида, составленныхъ по Горроксу, и только впослѣдствіи таблицы Майера вытѣснили и тѣ другія.

періодѣ, какъ и въ первомъ. Причина этого та, что, по окончаніи періода, луна находится приблизительно въ томъ же положеніи относительно солнца, относительно своихъ узловъ и апогея, въ какомъ была въ началѣ его и только на нѣсколько градусовъ удаляется отъ своего прежняго положенія на небѣ. На основаніи этого соображенія Галлей предполагалъ, что всѣ неправильности или возмущенія въ движеніи луны, какъ бы они ни были сложны, должны правильно повторяться въ теченіе такого же періода, и что такимъ образомъ, если извѣстное положеніе луны опредѣлено посредствомъ наблюденій для одного изъ таковыхъ періодовъ, то мы можемъ смѣло внести его въ таблицы для всѣхъ послѣдующихъ періодовъ. Эта идея пришла ему въ голову еще прежде, чѣмъ онъ познакомился съ воззрѣніями Ньютона *). Когда впослѣдствіи явилась теорія луны въ «Principia», онъ надѣялся, что его идея будетъ подтверждена въ нихъ; потому что неравенства въ движеніяхъ луны, происходящія отъ притяженія солнца, зависятъ отъ ея положенія относительно солнца, апогея и узловъ ея орбиты, и поэтому, какъ бы они ни были многочисленны, всегда будутъ повторяться тогда, когда повторится ея подобное положеніе.

Галлей въ 1691 г. **) объявилъ о своемъ намѣреніи приложить эту идею на практикѣ, и сдѣлалъ это въ мемуарѣ, въ которомъ исправилъ текстъ трехъ мѣстъ у Плинія, гдѣ упоминается объ этомъ періодѣ,

*) Phil. Trans. 1731, p. 188.

**) Ibid , p. 536.

иногда называемомъ поэтому Плиніевымъ періодомъ. Въ 1710 г., въ предисловіи къ новому изданію Каролинскихъ таблицъ Трита, онъ утверждаетъ, что нашелъ много подтвержденій для своей мысли *). И даже послѣ того, какъ теорія Ньютона была полнѣе приложена къ составленію таблицъ, онъ все-еще продолжалъ употреблять свой циклъ, какъ средство для достиженія большей точности. Въ 1720 г., вступивъ въ завѣдываніе гринвичской обсерваторіей, онъ долженъ былъ отказаться отъ своего намѣренія, такъ какъ инструменты принадлежали Флемстиду и были взяты его родственниками. «Это было для меня,» говоритъ онъ, «крайне прискорбно; такъ какъ я былъ уже старъ и мнѣ было 64 года, которые отнимали у меня всякую надежду прожить еще столько, чтобы заниматься наблюденіями въ теченіе цѣлаго періода изъ 11 лѣтъ. Но, благодаря Бога, который даетъ мнѣ еще и теперь (1731) довольно здоровья и силъ, я самъ могъ довести до конца мою работу во всѣхъ ея частяхъ собственными моими руками и глазами, безъ посторонней помощи и перерывовъ, въ теченіе цѣлаго періода луннаго апогея,—составляющаго нѣсколько менѣе 9 лѣтъ **)». Онъ нашелъ, что его предположеніе вполнѣ подтвердилось, и потому онъ надѣялся достигнуть великой цѣли опредѣленія Долготы каждаго мѣста съ желаемой степенью точности. И онъ продолжалъ свою работу объ этомъ предметѣ въ теченіе цѣлыхъ 18 лѣтъ, до конца Плиніева періода въ 1739 г.

Точность, которой достигъ Галлей этимъ путемъ,

*) Ibid , p 187. **) Ibid., p. 193.



при опредѣленіи положенія луны доходила до 2 минутъ пространства или до 15-й части поперечника луны. Но для полученія упомянутой выше англійской преміи требовалась точность значительно большая. Около того же времени Лемонье тоже разработывалъ идею Галлея *).

Мы уже замѣчали въ исторіи аналитической механики, что Лунная Теорія, разсматриваемая какъ частный случай Проблемы Трехъ Тѣлъ, нисколько не подвинулась впередъ противъ того, что сдѣлалъ въ ней Ньютонъ, до тѣхъ поръ, пока математики не отложили въ сторону синтетическіе методы Ньютона и не употребили въ дѣло новооткрытыхъ обобщеній аналитическаго метода. Первое значительное несогласіе закона всеобщаго тяготѣнія съ астрономическими наблюденіями касалось Движенія Апогея Лунной Орбиты, которое Клеро, какъ мы видѣли, вычислилъ невѣрно. Но въ 1750 г. онъ самъ замѣтилъ свою ошибку, которая состояла въ томъ, что его методы приближенія сдѣланы были не вполнѣ удовлетворительно. При дальнѣйшемъ изслѣдованіи этого предмета, онъ нашелъ, что законъ Ньютона, правильно развитый и приложенный къ дѣлу, вполнѣ согласуется съ наблюденіями. Эйлеръ разрѣшалъ эту проблему при помощи своего анализа въ 1745 г. **) и напечаталъ таблицы луны въ 1746. Но его таблицы не вполнѣ согласовались съ наблюденіями †). Впослѣдствіи Эйлеръ, д'А-

---

*) Baily, *Astr. M. A.* p. 171.

**) Lalande, *Astr.* § 1460.

†) Bradley, *Correspondence.*

ламберъ и Клеро продолжали заниматься этимъ предметомъ и двое послѣднихъ издали въ 1745 г. новыя таблицы луны, которыя уже гораздо лучше согласовались съ наблюденіями *). Наконецъ Тобіасъ Майеръ, геттингенскій астрономъ, сравнивъ таблицы Эйлера съ наблюденіями, исправилъ ихъ такъ успѣшно, что изданныя имъ самимъ таблицы въ 1753 г., дѣйствительно уже имѣли ту степень точности, которой не достигъ Галлей. Успѣхъ Майера въ его первыхъ таблицахъ побудилъ его исправлять ихъ еще болѣе. Онъ занялся теперь механической теоріей лунной орбиты, исправилъ, посредствомъ наблюденій, коэффиціенты всѣхъ уравненій, полученные на основаніи этой теоріи и наконецъ въ 1755 г., послалъ свои новыя таблицы въ Лондонъ на соисканіе преміи, назначенной за открытіе способа опредѣленія долготъ. Вскорѣ послѣ этого онъ умеръ (1762), истощенный многочисленными работами на 39 году своей жизни; и его вдова послала въ Лондонъ копію съ его таблицъ съ добавочными исправленіями. Эти таблицы переданы были Брадлею, королевскому астроному, съ тѣмъ чтобы онъ сравнилъ ихъ съ наблюденіями. Брадлей занялся усердно этимъ дѣломъ, такъ какъ онъ самъ прежде имѣлъ надежду ввести во всеобщее употребленіе Методъ опредѣленія Долготъ посредствомъ Луны. Онъ и его помощникъ Гайеръ Моррисъ сдѣлали нѣкоторыя исправленія въ таблицахъ Майера 1750 г. Въ своемъ оффиціальномъ донесеніи 1756 г., онъ говоритъ **), что самая

*) Lalande, *Astr*. § 1460.
**) Bradley, *Mem*. p. XCVIII.

большая разница, найденная имъ въ таблицахъ, составляла минуту съ четвертью. Въ 1760 г., онъ заявилъ, что эта разница сдѣлалась еще меньше вслѣдствіе дальнѣйшихъ исправленій Майера. Для нашей цѣли важно замѣтить здѣсь, что эта повѣрка таблицъ требовала громаднаго труда; нужно было произвести не меньше 1220 наблюденій и долгихъ вычисленій надъ ними. Наконецъ таблицы Майера были признаны заслуживающими части парламентской преміи; онѣ были напечатаны въ 1770 г., и вдова его получила 3,000 фунт. стерл. отъ англійской націи. Въ тоже время Эйлеръ, таблицы котораго были началомъ и основаніемъ для таблицъ Майера, также получилъ премію въ ту же сумму.

Это публичное національное признаніе практической точности этихъ таблицъ есть такимъ образомъ торжественное подтвержденіе истины Ньютоновой Теоріи, насколько истина можетъ быть рѣшаема судомъ людей, произносящихъ свой приговоръ подъ высшей оффиціальной отвѣтственностью и руководимыхъ указаніями и совѣтами всѣхъ ученѣйшихъ и талантливѣйшихъ людей страны. Такимъ образомъ опредѣленіе долготъ есть несокрушимая печать, утверждающая тяготѣніе луны къ солнцу и землѣ. Этимъ мы и оканчиваемъ нашу исторію теоріи луны. Были конечно еще сдѣланы нѣкоторыя улучшенія въ изслѣдованіяхъ объ этомъ предметѣ; но мы не будемъ останавливаться на нихъ, имѣя предъ собой такъ много другихъ болѣе важныхъ предметовъ.

§ 3. Приложеніе Ньютоновой Теоріи къ Планетамъ, Спутникамъ и Землѣ.

Теорія Планетъ и Спутниковъ, движущихся по закону всеобщаго тяготѣнія и потому испытывающихъ возмущенія въ своихъ движеніяхъ, вслѣдствіе взаимнаго притяженія, сдѣлалась естественно самымъ интереснымъ предметомъ, послѣ провозглашенія этого закона. Нѣкоторыя дѣйствія взаимнаго притяженія планетъ уже были замѣчены наблюденіями. Значительное возмущеніе, производимое взаимнымъ притяженіемъ Сатурна и Юпитера, не могло не быть замѣченнымъ хорошимъ наблюдателемъ. Въ предисловіи ко второму изданію «Principia» (XXI) Котесъ замѣчаетъ, что возмущенія въ движеніяхъ Сатурна и Юпитера не безъизвѣстны астрономамъ. Въ таблицахъ Галлея замѣчено (въ концѣ планетныхъ таблицъ), что существуютъ большія уклоненія отъ правильнаго движенія этихъ двухъ планетъ и такія уклоненія приписаны возмущающему дѣйствію планетъ одна на другую; но опредѣленіе ихъ было предоставлено послѣдующимъ астрономамъ.

Первымъ замѣченнымъ результатомъ взаимнаго притяженія планетъ было движеніе плоскостей и апсидъ планетныхъ орбитъ. Въ 1706 г. Лагиръ и Маральди сравнили свои наблюденія надъ Юпитеромъ съ Рудольфинскими таблицами и таблицами Булліальда и при этомъ оказалось, что афелій юпитеровой орбиты подвинулся впередъ, а узлы ея назадъ. Въ 1728 Кассини нашелъ, что афелій Сатурна также подвинулся впередъ. Въ 1720 г., когда Лувилль не хотѣлъ по-

казать въ своихъ солнечныхъ таблицахъ движеніе афелія земли, то Фонтенель замѣтилъ, что это есть излишняя щепетильность, такъ какъ несомнѣнно извѣстно, что афелій Меркурія тоже подвигается впередъ. Астрономы того времени еще не побѣдили въ себѣ укоренившагося нежеланія допускать какія-нибудь перемѣны и неправильности на небѣ. Когда они находили только приблизительную, или кажущуюся неизмѣняемость и правильность, имъ тотчасъ же хотѣлось считать ее абсолютной и точной. Такъ напр. они очень неохотно согласились допустить даже эксцентрицитетъ орбитъ спутниковъ Юпитера и еще неохотнѣе движеніе узловъ, наклоненія и апсидъ ихъ. Но эта вѣра въ неизмѣняемость и постоянство исчезала, потому что оказывалась несостоятельной. Фонтенель въ 1732 г., по поводу сдѣланнаго Маральди открытія измѣненій въ наклоненіи четвертаго юпитеровскаго спутника, высказываетъ догадку, что можетъ быть также измѣнчивы и всѣ элементы ихъ. «Мы видимъ», говоритъ онъ, «что уже исчезла принимавшаяся прежде неизмѣняемость въ наклоненіи трехъ первыхъ спутниковъ и въ эксцентрицитетѣ четвертаго. До сихъ поръ удерживается еще неизмѣняемость и неподвижность узловъ, но есть ясное указаніе на то, что и ее постигнетъ участь остальныхъ элементовъ.»

Эти движенія узловъ и апсидъ спутниковъ были необходимымъ слѣдствіемъ ньютоновой теоріи; и даже картезіанскіе астрономы искали только опредѣленныхъ данныхъ, чтобы ввести эти измѣненія въ свои таблицы.

Полная реформація Таблицъ Солнца, Планетъ и Спут-

никовъ, естественно вытекавшая изъ революціи произведенной Ньютономъ, была произведена трудами цѣлаго созвѣздія великихъ математиковъ, о которыхъ мы говорили въ предшествующей книгѣ, Клеро, Эйлеромъ и ихъ преемниками. Такимъ образомъ Лаландъ примѣнилъ теорію Клеро къ Марсу, что сдѣлалъ и Майеръ. Неравенства, опредѣленныя ими въ этихъ случаяхъ, говоритъ Бейли *), въ 1785 г. были величиной около 2 минутъ и потому не могли быть оставлены безъ вниманія. Лаландъ опредѣлялъ неравенства Венеры, что̀ дѣлалъ и Вальмесли, англійскій математикъ; они нашли, что эти неравенства составляютъ только около 30 секундъ.

Самыми замѣчательными таблицами въ концѣ прошлаго столѣтія были таблицы Лаланда **). Въ нихъ были показаны уже возмущенія Юпитера и Сатурна, которыя были такъ значительны, что ими нельзя было пренебречь. Но въ таблицахъ Меркурія, Венеры и Марса еще не были означены возмущенія. Потому эти таблицы могли считаться довольно точными для практическихъ наблюденій, но не для теоріи возмущеній. Когда вычислены были взаимныя возмущенія планетъ, тогда было признано, что математики могутъ дойти дотого, чтобы опредѣляемое ими теоретически мѣсто планетъ совпадало съ мѣстомъ, показываемымъ наблюденіемъ. Для того чтобы сколько возможно достигнуть этой точности и совпаденія, необходимо было опредѣлить массу каждой планеты, потому что,

*) Astr. Mod. III, 170.

**) Airy, *Report on Ast. to the Brit. Ass.* 1832.



согласно закону всеобщаго тяготѣнія, отъ массы зависитъ ихъ возмущающая сила. Такимъ образомъ въ 1813 г. Линденау публиковалъ таблицы Меркурія, въ которыхъ онъ особенно занимался возмущеніями, происходящими въ этой планетѣ отъ сосѣдственной ей Венеры, и этимъ путемъ нашелъ, что принимавшаяся доселѣ масса Венеры должна быть опредѣляема значительно больше, чтобы согласить показываемое въ таблицахъ положеніе Меркурія съ наблюденіями *). Онъ въ 1810 г. напечаталъ таблицы Венеры, а въ 1811 таблицы Марса, и такъ какъ новѣйшія таблицы Юпитера и Сатурна, которыми занимался Буваръ, были сравнены съ наблюденіями, то можно было опредѣлить массы этихъ обѣихъ планетъ **). — Форма, въ которой вопросъ объ истинѣ ученія о всеобщемъ тяготѣніи самъ собой представлялся

---

*) Ibid.

**) Между наиболѣе замѣчательными опредѣленіями массы планетъ, мы можемъ указать на опредѣленіе массы Юпитера профессора Айри. Его опредѣленіе основано не на возмущеніяхъ, которыя Юпитеръ производитъ на другія планеты, а на болѣе прямомъ и опредѣленномъ элементѣ, именно на времени обращенія вокругъ него его четвертаго спутника. По этимъ вычисленіямъ оказалось, что принимавшуюся доселѣ массу Юпитера нужно увеличить на 1/80 часть. Этотъ результатъ согласовался съ результатами, которые были получены нѣмецкими астрономами изъ наблюденій надъ возмущеніями, которыя притяженіе Юпитера производитъ на четыре новыя планеты; и потому этотъ результатъ былъ признанъ какъ улучшеніе и исправленіе элементовъ нашей системы.

астрономамъ, была такая: если предполагать, что тяготѣніемъ объясняются всѣ движенія небесныхъ тѣлъ, то какія массы мы должны принимать въ планетахъ, чтобы получить наилучшее объясненіе? Постоянно увеличивавшаяся точность теоретически построенныхъ таблицъ и согласіе ихъ съ наблюденіями доказывали истину основнаго предположенія.

Вопросъ о взаимныхъ возмущеніяхъ небесныхъ тѣлъ упрощался примѣненіемъ его къ планетамъ, имѣющимъ многихъ спутниковъ. Такимъ образомъ спутники Юпитера возмущаются не только солнцемъ, какъ наша луна, но также и другъ другомъ, подобно планетамъ. Это взаимное дѣйствіе спутниковъ производитъ весьма любопытныя отношенія между ихъ движеніями *); и эти отношенія, подобно многимъ другимъ значительнымъ возмущеніямъ, были замѣчены астрономами посредствомъ наблюденій еще прежде, чѣмъ была опредѣлена причина ихъ посредствомъ математическихъ вычисленій. Въ замѣчаніяхъ Брадлея на его собствен-

*) Именно, если сравнить среднія долготы трехъ ближайшихъ къ Юпитеру спутниковъ, то оказывается, что для каждаго даннаго времени долгота перваго, т. е. ближайшаго къ Юпитеру спутника, сложенная съ удвоенной долготой втораго безъ утроенной долготы третьяго, всегда равна 180 градусамъ. Также точно среднее сидерическое движеніе перваго спутника въ извѣстное данное время, сложенное съ удвоеннымъ движеніемъ втораго, всегда равно утроенному движенію третьяго въ теченіе того же времени. Простое слѣдствіе, какое можно вывести изъ этихъ отношеній, есть то, что эти спутники никогда не могутъ быть въ затмѣніи всѣ три въ одно время. (Литтровъ).



ныя Таблицы Спутниковъ Юпитера, напечатанныя вмѣстѣ съ таблицами Галлея, онъ говоритъ, что положеніе трехъ внутреннихъ спутниковъ претерпѣваетъ аномаліи, которыя возвращаются послѣ цикла въ 437 дней, соотвѣтствующаго времени, въ которое они возвращаются въ такое же положеніе относительно другъ друга и относительно оси тѣни Юпитера. Варгентинъ наблюдалъ то же самое обстоятельство, не зная еще о наблюденіяхъ Брадлея и старательно воспользовался имъ въ 1746 г. для того, чтобы исправить таблицы спутниковъ. Впослѣдствіи Лапласъ, посредствомъ математическихъ соображеній, составилъ весьма любопытную теорему, отъ которой зависитъ циклъ этихъ измѣненій, названный имъ либраціею юпитеровыхъ спутниковъ. Вслѣдствіе этого Деламбръ былъ въ состояніи составить таблицы юпитеровыхъ спутниковъ, болѣе точныя, чѣмъ таблицы Варгентина, и издалъ ихъ въ 1789 г. *)

Прогрессъ физической астрономіи со временъ Эйлера и Клеро состоялъ въ цѣломъ рядѣ вычисленій и наблюденій, самыхъ глубокихъ и запутанныхъ. Составленіе таблицъ планетъ и спутниковъ, на основаніи теоріи требовало разрѣшенія проблемъ, гораздо болѣе сложныхъ, чѣмъ первоначальная Проблема Трехъ Тѣлъ. Опредѣленіе истиннаго движенія планетъ и ихъ орбитъ было чрезвычайно трудно вслѣдствіе того, что всѣ линіи и точки, къ которымъ мы можемъ относить эти движенія, сами постоянно находятся въ движеніи. Чтобы найти порядокъ и законъ

*) Voiron, *Hist. Astr.* p. 322.

въ этой массѣ кажущихся безпорядочныхъ запутанностей, для этого требовался цѣлый рядъ людей съ высокими математическими талантами, — требовалось терпѣніе и искусство въ наблюденіи, подобныхъ которымъ мы не встрѣчаемъ ни въ какихъ другихъ отрасляхъ науки. Намъ нельзя представить здѣсь подробный разсказъ объ этихъ работахъ; но мы можемъ указать здѣсь одинъ примѣръ тѣхъ сложныхъ соображеній, какія требовались при этихъ работахъ. Узлы четвертаго спутника Юпитера не подвигаются назадъ *), какъ слѣдовало бы по теоріи Ньютона; они подвигаются впередъ по орбитѣ Юпитера. Но нужно помнить, что теорія требуетъ, чтобы узлы двигались назадъ по орбитѣ возмущающаго тѣла, которое въ настоящемъ случаѣ есть третій спутникъ Юпитера; и Лаландъ показалъ, что, по необходимымъ отношеніямъ пространства, послѣднее движеніе можетъ быть ретроградным, хотя первое есть движеніе впередъ.

Отъ разрѣшенія Проблемы трехъ тѣлъ и до настоящаго времени астрономы старались дать возможно большую точность Таблицамъ Солнца, основываясь на тѣхъ возмущеніяхъ, которыя претерпѣваетъ земля отъ разныхъ другихъ планетъ. Такимъ образомъ въ 1756 году Эйлеръ вычислилъ дѣйствіе притяженія планетъ на землю (вопросъ, предложенный на премію Парижской Академіей Наукъ); а послѣ него Клеро тоже занимался этимъ предметомъ. Лакаль, при помощи этихъ теоретическихъ результатовъ и своихъ опытныхъ наблюденій, составилъ и напечаталъ таблицы солнца. Въ

*) Bailly, III, 175.



1786 г. Деламбръ *) рѣшился повѣрить и исправить эти таблицы сравнивъ ихъ съ 314 наблюденіями, сдѣланными Маскелиномъ въ Гринвичѣ въ 1775, 1784 и нѣсколькихъ промежуточныхъ годахъ. Онъ исправилъ многіе элементы въ этихъ таблицахъ; но никакъ не могъ справиться съ возмущеніемъ, производимымъ реакціей луны. Основываясь на теоріи Клеро, онъ допустилъ второе возмущеніе отъ луны, зависящее отъ широты ея, но сдѣлалъ это неохотно и наполовину готовъ былъ отказаться отъ этого неравенства, не подтверждавшагося наблюденіями. Послѣдующія изслѣдованія математиковъ показали, что такое возмущеніе невозможно, какъ результатъ механическихъ принциповъ. Таблицы Деламбра, исправленныя такимъ образомъ, согласовались съ наблюденіями до 7 или 8 секундъ **), что считалось, и совершенно справедливо, большой точностью для того времени. Но астрономы были весьма далеки отъ того, чтобы удовольствоваться такими результатами. Въ 1806 г. французское «Бюро долготъ» напечатало исправленныя Солнечныя Таблицы Деламбра; а въ «Connaissance des Tems» на 1816 годъ Буркгартъ представилъ результаты сравненія таблицъ Деламбра съ многочисленными наблюденіями Маскелина, которыхъ было гораздо больше, чѣмъ тѣхъ наблюденій, на которыхъ основаны были таблицы †). Изъ этихъ сравненій оказалось, что эпоха мѣста перигелія земли и эксцентрицитетъ ея орбиты

---

*) Voiron, *Hist. Astr.* 315.

**) Montucla, *Hist. des Mathem.* IV, 42.

†) Airy, *Report.* p. 150.

требуютъ значительныхъ измѣненій и исправленій и что масса Венеры должна быть уменьшена почти на девятую часть; масса луны также оказалась гораздо меньше, чѣмъ принимали до тѣхъ поръ. Въ 1827 году Айри *) сравнилъ таблицы Деламбра съ 2,000 наблюденій, сдѣланныхъ съ новымъ транзитнымъ инструментомъ или меридіональнымъ кругомъ въ Кембриджѣ, и изъ этого сравненія вывелъ поправки элементовъ. Эти поправки вообще согласны были съ результатами Буркгарта, исключая уменьшеніе массы Марса. Кромѣ того нѣкоторыя несогласія между таблицами и наблюденіями привели Айри къ догадкѣ о существованіи возмущенія земли, которое могло ускользнуть отъ проницательности Лапласа и Буркгарта. И спустя нѣсколько недѣль, какъ высказана была эта догадка, этотъ математикъ объявилъ Королевскому Обществу, что онъ открылъ доселѣ еще неизвѣстное въ планетной теоріи неравенство, происходящее отъ взаимнаго притяженія Венеры и Земли. Это неравенство составляетъ для Земли почти 3 секунды пространства, а его періодъ около 240 лѣтъ. «Это неравенство,» прибавляетъ онъ, «соотвѣтствуетъ разности вѣковыхъ движеній, которую дало сравненіе эпохъ 1783 и 1821 и эпохъ 1801 и 1821 годовъ».

Много отличныхъ Таблицъ движеній солнца, луны и планетъ было публиковано въ послѣдней половинѣ прошлаго столѣтія; и «Бюро долготъ», учрежденное во Франціи въ 1795 г., старалось издавать новыя и

*) Phil. Trans. 1828.



исправленныя таблицы большей части этихъ движеній. Такимъ образомъ явились таблицы солнца Деламбра, таблицы луны Бурга, таблицы Юпитера, Сатурна и Урана Бувара. Согласіе этихъ таблицъ съ наблюденіями было вообще полное до удивительной степени.

Мы здѣсь сдѣлаемъ замѣчаніе о разницѣ въ способахъ, которыми пользуются, когда новая теорія только еще устанавливается, и тогда, когда она уже установилась и требуетъ только подтвержденія и исправленія. Мы указали, какъ на особое достоинство метода Гиппарха и какъ на доказательство математической основательности его теоріи, на то, что онъ, для опредѣленія апогея солнца и эксцентрицитета его орбиты, не хотѣлъ знать ничего другаго, кромѣ различной продолжительности временъ года. Но если малое количество фактовъ, нужныхъ для теоріи, и составляетъ ея достоинство при первоначальномъ ея образованіи и установленіи, то въ то время, когда теорія уже установилась, достоинство ея заключается именно въ многочисленности фактовъ и наблюденій, къ которымъ она прилагается. При исправленіи таблицъ, математики имѣли въ виду гораздо больше фактовъ и наблюденій, чѣмъ сколько ихъ требовалось для опредѣленія элементовъ. Теорія должна объяснять всѣ факты наблюденія; но такъ какъ она не можетъ этого сдѣлать съ математической точностью (вслѣдствіе несовершенства наблюденій), то элементы опредѣляются не такъ, чтобы они соотвѣтствовали всякому любому наблюденію, а такъ, чтобы общее количество несогласія между указаніями теоріи и наблюденіями становилось возможно меньше и меньше. И такимъ образомъ

въ примѣненіи теоріи къ наблюденіямъ, даже въ ея болѣе развитомъ видѣ, всегда есть мѣсто для остроумія и искусства, проницательности и сообразительности.

Такимъ образомъ астрономы выбрали болѣе подходящіе и лучшіе средніе элементы движеній небесныхъ тѣлъ; но дѣйствительныя, опредѣляемыя наблюденіемъ движенія уклоняются отъ этихъ среднихъ величинъ такъ, какъ показываетъ теорія, и потомъ снова и постоянно возвращаются къ среднимъ величинамъ. Однако изъ этого общаго правила, изъ этого постояннаго возвращенія къ среднимъ величинамъ есть нѣсколько кажущихся исключеній, о которыхъ мы и будемъ говорить въ слѣдующемъ параграфѣ.

(3-е изд.) *Таблицы Луны и Планетъ.* — Ньютоновское открытіе Всеобщаго Тяготѣнія, столь замѣчательное во многихъ отношеніяхъ, замѣчательно еще и въ томъ отношеніи, что оно представляетъ собой примѣръ тѣхъ обширныхъ размѣровъ, которые можетъ принимать подтвержденіе и доказательство великой истины, того громаднаго количества труда, какое нужно для ея разъясненія, и того поразительнаго расширенія знаній, къ какому она можетъ повести. Я уже сказалъ, что при самомъ первомъ развитіи теоріи Ньютона особенную прелесть придавало ей то, что всѣ ея элементы основывались на небольшомъ числѣ данныхъ; и что ея величіе, когда она уже установилась, выразилось тѣмъ, что она объяснила

громадное количество фактовъ, представляемыхъ наблюденіемъ. Я уже указалъ въ текстѣ, какъ многочисленны и разнообразны были тѣ наблюденія, которыя объяснила астрономія посредствомъ этого открытія, равно какъ и тѣ, которыя и были сдѣланы собственно потому, что она уже предуказывала на нихъ. Множество наблюденій, сдѣланныхъ такимъ образомъ, были употреблены на то, чтобы посредствомъ ихъ подтверждать и исправлять сначала принятые элементы теоріи. Я уже привелъ нѣсколько примѣровъ подобнаго процесса и долженъ упомянуть еще о многихъ другихъ, чтобы довести эту часть Астрономіи до настоящаго времени. Но я буду указывать только на тѣ, которые кажутся мнѣ наиболѣе замѣчательными.

Въ 1812 г. французское «Бюро долготъ» напечатало таблицы луны Буркгарта. Сличеніе этихъ таблицъ и таблицъ Бурга съ наблюденіями показало, что въ первыхъ ошибка въ долготѣ луны составляла $^{9}/_{100}$ секунды, тогда какъ въ таблицахъ Бурга средняя ошибка составляла $^{18}/_{100}$ секунды. Такимъ образомъ преимущество оказалось на сторонѣ Буркгарта.

Однако и эти таблицы въ нѣкоторыхъ случаяхъ сличенія съ наблюденіями оказывались ошибочными болѣе чѣмъ на $^{1}/_{3}$ секунды. Это обстоятельство, равно какъ и высказанное Лапласомъ желаніе побудили Французскую Академію назначить премію за полное и чисто теоретическое опредѣленіе лунной орбиты; такъ какъ дѣлавшіяся доселѣ опредѣленія основывались частью на теоріи, а частью на наблюденіяхъ. Въ 1820 г. явились на соисканіе преміи два ученыя произведенія, одно Дамуазо, а другое Плана и

Карлини. Впослѣдствіи (въ 1824 и еще въ 1828) Дамуазо напечаталъ «Tables de la Lune, formées sur la seule Théorie d'Attraction». Эти таблицы очень удовлетворительно согласовались съ наблюденіями. Чтобы дать понятіе о сложности той задачи, какую представляло составленіе такихъ таблицъ, я скажу, что для опредѣленія долготы луны нужно было принять во вниманіе не менѣе 47 вліяній, возмущающихъ ея движеніе. Другіе элементы, отъ которыхъ тоже зависитъ опредѣленіе ея мѣста на небѣ, подвержены не меньшему числу неравенствъ или возмущеній, которыя нужно было принимать въ соображеніе и вычислять.

Въ второмъ изданіи этого сочиненія, напечатанномъ въ 1847 г., я еще говорилъ, что относительно движеній луны существуетъ еще неразъясненное разногласіе между теоріей или таблицами и наблюденіями, происходящее вѣроятно отъ какого-нибудь возмущенія, имѣющаго долгій періодъ и еще не разъясненнаго теоріей.

Для объясненія и устраненія этого разногласія требовались самая тщательная разработка продолжительнаго ряда самыхъ точныхъ наблюденій надъ луною и сличеніе ихъ всѣхъ съ теоріей въ самой лучшей ея формѣ; а для этого нужно было исправить численные элементы теоріи и изучить свойства или и самый законъ еще необъясненныхъ разногласій. Все это дѣло вообще требовало громаднаго труда, большаго искусства и глубокихъ математическихъ знаній. И за него взялся Айри, принявъ за основаніе своихъ изслѣдованій наблюденія надъ луной, произведенныя въ Гринвичѣ съ 1750 до 1830 г. Болѣе 8000

мѣстъ луны на небѣ, указанныхъ наблюденіями, были сличены съ теоріей, т. е. такое же число мѣстъ было опредѣлено и по вычисленію; каждое мѣсто было вычисляемо отдѣльно и независимо по Формуламъ Плана. Нѣсколько счетчиковъ (иногда 16), получавшихъ жалованье отъ Англійскаго Правительства, употребили на это дѣло около 8 лѣтъ. Если мы прибавимъ къ этому еще трудъ, употребленный на самыя наблюденія, то это покажетъ намъ, какіе громадные размѣры принимала повѣрка Ньютоновой теоріи. Первые результаты этого труда были напечатаны въ 4-хъ большихъ томахъ; окончательные же выводы, какъ напр. исправленіе элементовъ и проч., были сообщенія въ Мемуарахъ Астрономическаго Общества за 1848 г. *).

Уже во время самаго хода вычисленій становилось яснымъ, что существуетъ нѣсколько несогласій между мѣстами, указанными наблюденіемъ, и указанными теоріей луны въ томъ видѣ, какъ она существовала тогда. Ганзенъ, извѣстный нѣмецкій математикъ, открывшій новые и полезные методы математическаго опредѣленія результатовъ законовъ тяготѣнія, повелъ еще дальше и глубже свои изслѣдованіи о томъ, какъ осуществляются эти законы въ движеніяхъ луны. Результатомъ его изслѣдованій было то, что онъ на-

*) Весь расходъ на счетчиковъ, со включеніемъ корректуры, составлялъ 4300 фунт. стерл.—Айри считаетъ число рабочихъ дней, употребленныхъ только на самую трудную часть вычисленій, въ 36 лѣтъ. Это нѣсколько преувеличено; но неслишкомъ много для такой работы.



шелъ, что существуютъ еще два лунныя неравенства или возмущенія, неизвѣстныя доселѣ; періодъ одного 273, а другаго 239 лѣтъ, коэффиціентъ перваго 27, а втораго 23 секунды. Оба эти неравенства происходятъ отъ притяженія Венеры; и одно изъ нихъ имѣетъ связь съ продолжительнымъ неравенствомъ, обнаружившимся въ солнечныхъ таблицахъ и существованіе котораго уже доказано Айри, о чемъ сказано въ VII книгѣ, § 6.

Эти два неравенства, открытыя Ганзеномъ, совершенно совпали съ тѣми несогласіями между дѣйствительными наблюденіями положеній луны и между составленными по вычисленіямъ таблицами луны, которыя указаны были вышеупомянутыми громадными работами Айри. Вскорѣ послѣ этого Ганзенъ нашелъ, что теорія указываетъ на существованіе еще двухъ, новыхъ неравенствъ луны, одного въ широтѣ, а другаго въ долготѣ, и что эти неравенства найдены были Айри, когда онъ на основаніи наблюденій исправлялъ элементы лунныхъ таблицъ. Вслѣдъ за этимъ эти же математики нашли теоретически, посредствомъ вычисленій, поправку для движенія узла лунной орбиты, совпадающую съ тѣмъ неравенствомъ въ этомъ движеніи, которое уже замѣчалось при наблюденіяхъ.

Ничего не можетъ быть поразительнѣе этого подтвержденія, какое даютъ теоріи Ньютона новыя изслѣдованія, все увеличивающіяся по объему и по точности и доказывающія постоянное согласіе между этой теоріей и небесными движеніями. Мы имѣемъ уже громадную массу самыхъ лучшихъ наблюденій, какія когда-либо дѣлались, систематически изслѣдован-

ную съ цѣлью исправленія вдругъ всѣхъ элементовъ лунныхъ таблицъ. Исправленія элементовъ, сдѣланныя такимъ образомъ, естественно, открываютъ нѣкоторыя ошибки въ теоріи, т. е. въ напередъ сдѣланныхъ вычисленіяхъ. Но въ то же время и съ той же цѣлью болѣе тщательнаго и глубокаго изслѣдованія предмета изъ теоріи выводятся болѣе полные результаты ея посредствомъ изобрѣтенія новыхъ и могущественныхъ математическихъ методовъ; и при этомъ оказывается, что полученные такимъ образомъ новые результаты теоріи совершенно соотвѣтствуютъ ошибкамъ въ старыхъ таблицахъ, слѣдующимъ разнымъ законамъ и относящимся къ разнымъ сторонамъ и элементамъ движенія, и объясняютъ ихъ. Такимъ образомъ каждое новое и точнѣйшее наблюденіе надъ небесными движеніями съ одной стороны и каждый новый шагъ въ развитіи ньютоновской теоріи съ другой рано или поздно совпадаютъ между собой и достигаютъ самаго полнаго согласія.

Сравненіе теоріи съ наблюденіями надъ движеніями планетъ, возмущаемыми въ каждой планетѣ притяженіемъ всѣхъ другихъ планетъ, есть дѣло во многихъ отношеніяхъ болѣе трудное и сложное, чѣмъ сличеніе теоріи луны съ лунными наблюденіями. Но и за это дѣло взялся тотъ же неутомимый астрономъ, и при этомъ матеріалами служили для него наблюденія, обнимающія тотъ же періодъ, именно удивительныя наблюденія, сдѣланныя въ Гринвичѣ отъ 1750 до 1830 г., когда здѣсь были королевскими астрономами Брадлей, Маскелинъ и Пондъ *). Эти наблюденія надъ плане-

*) Наблюденія надъ неподвижными звѣздами, сдѣланныя

тами были поправлены по таблицамъ рефракціи, аберраціи и пр., и указанныя ими мѣста планетъ были сравнены съ мѣстами, указанными въ таблицахъ; притомъ употреблялись таблицы Меркурія, Венеры и Марса, составленныя Линденау, таблицы Юпитера, Сатурна и Урана, составленныя Бубаромъ. И такимъ образомъ, такъ какъ эти изслѣдованія подтвердили общепринятую теорію и ея элементы, то астрономамъ будущаго времени этимъ самымъ приготовлена возможность дѣлать возможныя улучшенія, или въ результатахъ теоріи или въ постоянныхъ элементахъ, изъ которыхъ она состоитъ. Сочиненіе, заключавшее въ себѣ результаты сличенія планетныхъ наблюденій съ таблицами, было напечатано въ 1845 г.; расходы по его составленію и печатанію приняло на себя Англійское Правительство.

---

§ 4. Приложеніе Ньютоновой теоріи къ Вѣковымъ Неравенствамъ.

Вѣковыя Неравенства въ движеніяхъ небесныхъ тѣлъ суть тѣ измѣненія въ элементахъ солнечной системы,

---

Брадлеемъ, который былъ предшественникомъ Маскелина въ Гринвичѣ, были уже разработаны Бесселемъ, великимъ германскимъ астрономомъ, и результаты этой разработки были напечатаны въ 1818 году, подъ заглавіемъ, которое достаточно показываетъ, какъ высоко цѣнилъ онъ эти матеріалы: «Fundamenta Astronomiae pro anno 1755 deducta ex Observationibus viri incomparabilis James Bradley in specula astronomica Grenovicensi per annos 1750—1762 institutis».



которыя идутъ прогрессивно отъ одного періода къ другому. Первымъ примѣромъ такого измѣненія, изученнаго астрономами, было Ускореніе Средняго Движенія Луны, открытое Галлеемъ. Фактъ, открытый его наблюденіемъ, состоялъ въ томъ, что луна движется теперь въ очень малой степени скорѣе, чѣмъ двигалась въ древнѣйшія времена. Когда этотъ фактъ былъ подтвержденъ, то явились многія гипотезы для объясненія причинъ его и были произведены многія вычисленія. Болѣе сообразной гипотезой была та, которая принимала сопротивленіе среды, въ которой движутся всѣ небесныя тѣла, слѣдовательно и луна. Другая гипотеза, которой нѣкоторое время держался Лапласъ, предполагала постепенное распространеніе силы тяжести, т. е. будто бы тяжесть земли требуетъ извѣстнаго времени, чтобы ей достигнуть до луны. Но ни одна изъ этихъ гипотезъ не давала удовлетворительныхъ результатовъ; и даже Эйлеръ, д'Аламберъ, Лагранжъ и Лапласъ напрасно напрягали свои силы, чтобы побѣдить эту трудность. Наконецъ въ 1787 г. Лапласъ [14]) объявилъ Парижской Академіи Наукъ, что онъ открылъ истинную причину этого ускоренія, именно, что оно происходитъ отъ дѣйствія солнца на луну въ связи съ вѣковымъ измѣненіемъ эксцентрицитета земной орбиты. Оказалось, что результаты вычисленія, основаннаго на этой мысли, довольно точно согласуются съ наблюденіями надъ этими измѣненіями, которыя до сихъ поръ казались астрономамъ столь трудными и запутанными. Самымъ замѣчательнымъ результатомъ этого изслѣдованія была мысль, что это вѣковое неравенство въ движеніи луны есть соб-

ственно періодическое неравенство, но періодъ его составляетъ нѣсколько милліоновъ лѣтъ; такъ что, по истеченіи этого почти невообразимаго времени, ускореніе перейдетъ въ замедленіе. Чрезъ нѣсколько времени (въ 1797 г.) Лапласъ обнародовалъ другія открытія относительно апогея и узловъ лунной орбиты. Всѣ эти изслѣдованія его собраны въ его «Théorie de la Lune», которая помѣщена въ III томѣ «Mechanique Celeste» 1802.

Другой примѣръ подобнаго рода представляетъ ускореніе средняго движенія Юпитера и замедленіе движенія Сатурна, открытыя наблюденіями Кассини, Маральди и Горрокса. Послѣ многихъ неудачныхъ попытокъ другихъ математиковъ, Лапласъ въ 1787 г. нашелъ, что отъ взаимнаго притяженія этихъ двухъ планетъ происходитъ большое Неравенство, періодъ котораго составляетъ $929^1/_2$ лѣтъ и которое ускоряетъ движеніе Юпитера и замедляетъ движеніе Сатурна уже съ самаго возрожденія астрономіи.

Такимъ образомъ вѣковыя неравенства небесныхъ движеній, подобно другимъ неравенствамъ, подтверждаютъ законъ всеобщаго тяготѣнія. Они называются «вѣковыми» потому, что совершаются въ теченіе очень продолжительныхъ періодовъ, обнимающихъ собой цѣлые вѣка, и потому, что періодичность ихъ не очевидна. Ихъ можно считать до нѣкоторой степени расширеніями Ньютоновой теоріи, хотя самъ Ньютонъ, насколько мы знаемъ, не зналъ этихъ неравенствъ, объясняемыхъ его законами. Но съ другой стороны они имѣютъ совершенно такой же характеръ, какъ и тѣ неравенства, которыя онъ предуказалъ и вычи-

слилъ. И когда мы перваго рода неравенства называемъ **вѣковыми** въ противоположность **періодическимъ** неравенствамъ, то этимъ мы не полагаемъ никакой дѣйствительной разницы между ними, потому что и вѣковыя неравенства также имѣютъ свои циклы или періоды; а хотимъ только сказать, что наши общепринятыя **среднія** величины элементовъ нашей системы получены безъ соображенія съ этими продолжительными неравенствами. И такимъ образомъ, какъ замѣтилъ уже Лапласъ по этому поводу *), достоинство этого величайшаго изъ всѣхъ открытій состоитъ именно въ томъ, что всякое кажущееся исключеніе изъ него становится его доказательствомъ и каждая, представляющаяся ему трудность,—новымъ торжествомъ его. И таковъ, справедливо прибавляетъ онъ, есть характеръ всякой истинной теоріи, вѣрнаго представленія природы.

Намъ невозможно исчислять здѣсь даже главнѣйшіе предметы, которые представляли собой тріумфальное шествіе Ньютоновской теоріи отъ ея происхожденія и до настоящаго времени. Но въ числѣ этихъ вѣковыхъ возмущеній мы должны упомянуть еще объ Уменьшеніи Наклоненія Эклиптики, какое замѣчалось съ самыхъ древнѣйшихъ временъ и до настоящаго времени. Это измѣненіе также было объяснено теоріей и вмѣстѣ съ тѣмъ доказано на основаніи ея, что, подобно всѣмъ другимъ періодическимъ измѣненіямъ въ нашей системѣ, оно имѣетъ свой

*) «Système du Moude», v. II. 37.

предѣлъ, за которымъ уменьшеніе оканчивается и начинается увеличеніе наклоненія.

Мы можемъ упомянуть здѣсь еще о нѣкоторыхъ особенныхъ предметахъ, отличныхъ отъ тѣхъ, о которыхъ мы доселѣ говорили. Вѣрное теоретическое опредѣленіе Предваренія Равноденствій, которое было ошибочно вычислено Ньютономъ, сдѣлано было д'Аламберомъ и оказалось согласнымъ съ наблюденіемъ. Лагранжъ доказалъ, что постоянное совпаденіе Узловъ Экватора Луны съ Узлами ея Орбиты есть результатъ механическихъ принциповъ. Лапласъ доказалъ, что тотъ любопытный фактъ, что Время обращенія луны вокругъ ея оси равно времени ея обращенія вокругъ земли, совершенно согласенъ съ результатами законовъ движенія. Лапласъ же, какъ мы уже видѣли, объяснилъ извѣстныя любопытныя отношенія постоянной связи между долготами первыхъ трехъ спутниковъ Юпитера; Бейли и Лагранжъ анализировали и объяснили любопытныя либраціи узловъ и наклоненій ихъ орбитъ. Лапласъ показалъ также, какое вліяніе имѣетъ сплюснутая фигура Юпитера на движеніе его спутниковъ, опредѣлилъ направленіе движеній отдаленнѣйшихъ точекъ ихъ разстоянія отъ планеты и узлы каждаго спутника.

§ 5. Приложеніе Ньютоновской Теоріи къ Новымъ Планетамъ.

Мы до такой степени привыкли считать Ньютоновскую теорію вѣрной, что не можемъ даже представить себѣ возможности, чтобы эти планеты, еще не

открытыя тогда, когда составлялась эта теорія, могли противорѣчить въ чемъ-нибудь ея положеніямъ. Намъ кажется невозможнымъ, чтобы Уранъ или Церера могли нарушать законы Кеплера, или двигаться не испытывая возмущеній отъ Юпитера и Сатурна. Однако еслибы во время открытія этихъ планетъ были люди, которые бы хоть сколько-нибудь сомнѣвались въ истинѣ и точности ученія о тяготѣніи, то они посмотрѣли бы на эти планеты и ихъ движенія съ тѣмъ же сомнѣніемъ, съ какимъ и теперь еще многіе смотрятъ на предсказанія астрономовъ о возвращеніи кометъ. Твердая вѣра въ истину Ньютоновой теоріи такъ сильна, что она изъ нашего ума уже перешла въ наши чувства. Тѣмъ неменѣе мы здѣсь кратко укажемъ на тотъ способъ, посредствомъ котораго эти новыя планеты подведены были подъ общіе законы Ньютоновой теоріи.

Вильямъ Гершель, человѣкъ съ большой энергіей и умомъ, сдѣлавшій важныя улучшенія въ телескопѣ, въ Батѣ 12 марта 1781 г. замѣтилъ въ созвѣздіи Близнецовъ звѣзду, которая была больше неподвижныхъ звѣздъ, хотя блестѣла меньше ихъ. Употребивъ болѣе сильное увеличеніе въ телескопѣ, онъ увидѣлъ эту звѣзду увеличенной и чрезъ два дня замѣтилъ, что она перемѣнила свое мѣсто. Вниманіе всего астрономическаго міра обратилось на этотъ новый предметъ и лучшіе астрономы во всѣхъ странахъ Европы слѣдили за движеніемъ этой звѣзды по небу *).

*) Voiron, *Hist. Astr.* p. 12.

Принятіе 8 планеты въ давно утвердившееся священное число 7 было до такой степени необыкновенно и странно для умовъ того времени, что они сначала прибѣгли къ разнымъ другимъ предположеніямъ. Орбита этого новаго тѣла была сначала принимаема и вычисляема какъ параболическій путь кометы. Но чрезъ нѣсколько дней звѣзда явно уклонилась отъ приписаннаго ей такимъ образомъ параболическаго пути; и напрасно старались какъ-нибудь объяснить это уклоненіе и принимали, что разстояніе перигелія этой параболы въ 14 и даже въ 18 разъ больше, чѣмъ разстояніе земли отъ солнца. Саронъ, членъ Парижской Академіи Наукъ, первый, говорятъ *), увидѣлъ, что дугу, пройденную новой звѣздой, лучше представлять кругомъ, чѣмъ параболой; и Лексель, знаменитый математикъ въ Петербургѣ, нашелъ, что всѣмъ доселѣ сдѣланнымъ наблюденіямъ лучше всего соотвѣтствуетъ круговая орбита, поперечникъ которой равенъ двойному разстоянію Сатурна отъ солнца. Изъ этого слѣдовало, что время ея обращенія равняется 82 годамъ.

Лаландъ тотчасъ же открылъ, что круговое движеніе новой планеты представляетъ значительныя измѣненія, изъ которыхъ оказывалось, что орбита новой планеты, подобно орбитамъ всѣхъ другихъ планетъ, есть эллипсисъ. Для опредѣленія эксцентрицитета орбиты тѣла, которое движется такъ медленно, требовались при прежнихъ методахъ цѣлые годы; но Лапласъ придумалъ новый методъ, посредствомъ кото-

*) Ibid., p. 12



раго эллиптическіе элементы этой орбиты были опредѣлены на основаніи четырехъ наблюденій и спустя меньше чѣмъ чрезъ годъ послѣ ея открытія Гершелемъ. Послѣ этихъ опредѣленій тотчасъ же явились таблицы этой новой планеты, изданныя Нуэ.

Чтобы достигнуть еще большей точности, нужно было обратить вниманіе на возмущенія этой планеты. Парижская Академія Наукъ назначила вѣ 1789 г. премію за составленіе новыхъ таблицъ этой планеты. Любопытнѣйшимъ примѣромъ новаго подтвержденія ученія Ньютона было то обстоятельство, что астрономы, вычисляя возмущенія этой планеты, нашли, что эта самая планета уже прежде была видима астрономами какъ звѣзда въ трехъ различныхъ мѣстахъ неба, именно Флемстидомъ въ 1690 г., Майеромъ въ 1756 и Лемоннье въ 1769 г. Деламбръ, при помощи этого открытія и теоріи Лапласа, вычислилъ таблицы этой планеты, которыя, при сравненіи ихъ въ теченіе трехъ лѣтъ, никогда не уклонялись отъ наблюденій больше, чѣмъ на 7 секундъ. Академія присудила премію этимъ таблицамъ; онѣ были приняты всѣми европейскими астрономами. И такимъ образомъ новая планета Гершеля (Уранъ) подчинилась законамъ притяженія на ряду со всѣми прежде извѣстными планетами, изъ изученія которыхъ найденъ былъ этотъ законъ.

Исторія открытія четырехъ другихъ новыхъ планетъ—Цереры, Паллады, Юноны и Весты похожа на предъидущую исторію, съ той только разницей, что планетный характеръ ихъ былъ признанъ тотчасъ же безъ всякихъ возраженій. Первая изъ этихъ планетъ была открыта въ первый день нашего столѣтія Піац-

ци, астрономомъ въ Палермо. Но онъ только по догадкамъ узналъ, что она планета, и не успѣлъ еще сдѣлать третьяго наблюденія, какъ его труды были прерваны опасной болѣзнью. Когда онъ выздоровѣлъ, то уже не могъ отыскать своей планеты; она сдѣлалась невидимой отъ близости къ лучамъ солнца.

Піацци объявилъ, что это есть планета съ эллиптической орбитой; но путь, которымъ она шла, вышедши изъ близкаго сосѣдства съ солнечными лучами, былъ несогласенъ съ тѣмъ, какой предположилъ для нея Піацци. По причинѣ ея крайней малости, ее трудно находить; и весь 1801 г. астрономы провели въ напрасныхъ поискахъ за ней. Наконецъ, послѣ многихъ трудовъ, Цахъ и Ольберсъ снова нашли ее—первый въ послѣдній день 1801 г., а второй въ первый день 1802. Гауссъ и Буркгартъ тотчасъ же занялись новыми наблюденіями для опредѣленія элементовъ ея орбиты, и первый изобрѣлъ для этой цѣли новый методъ. Церера теперь движется по орбитѣ, положеніе и неравенства которой очень хорошо извѣстны, и она уже теперь не можетъ спрятаться отъ любопытства астрономовъ.

Второй годъ XIX столѣтія также ознаменовался открытіемъ планеты. Она была открыта Ольберсомъ, медикомъ въ Бременѣ, въ то время, когда онъ искалъ Цереру между звѣздами созвѣздія Дѣвы. Онъ нашелъ звѣзду, движеніе которой можно было замѣтить даже въ теченіе двухъ часовъ. Тотчасъ же она была признана новой планетой и получила отъ ея открывателя имя Паллады. Буркгартъ и Гауссъ тотчасъ же занялись вычисленіями ея орбиты, какъ занимались вычи-

сленіями Цереры. Но здѣсь представлялись нѣкоторыя особенныя трудности. Эксцентрицитетъ ея больше, чѣмъ у всѣхъ старыхъ планетъ, и наклоненіе ея орбиты къ эклиптикѣ не меньше 35°. Вслѣдствіе этого возмущенія, которыя она испытывала отъ Юпитера, были велики, и трудно было ихъ вычислить. Буркгартъ употреблялъ извѣстные уже процессы анализа, но они оказались недостаточными и Императорскій Институтъ (такъ называлась Французская Академія въ царствованіе Наполеона) предложилъ на премію вопросъ о возмущеніяхъ Паллады.

За этимъ открытіемъ послѣдовали другія въ томъ же родѣ. Нѣмецкіе астрономы принялись разсматривать весь поясъ, въ которомъ движутся Церера и Паллада въ надеждѣ найти другія новыя планеты, обломки какой-нибудь большой планеты, какими считалъ ихъ Ольберсъ. Во время этихъ изслѣдованій Гардингъ въ Лиліенталѣ 1 сентября 1804 г. нашелъ новую звѣзду, которую онъ тотчасъ же призналъ планетой. Гауссъ и Буркгартъ тоже вычислили элементы ея орбиты и планета была названа Юноной.

Послѣ этого открытія Ольберсъ сталъ усердно искать на небѣ другихъ обломковъ предполагаемой имъ большой планеты. Онъ предполагалъ, что эта планета разлетѣлась на обломки въ одномъ изъ двухъ противоположныхъ созвѣздій Дѣвы и Кита, и потому здѣсь онъ предполагалъ найти всѣ ихъ. Онъ рѣшился три раза въ годъ пересматривать всѣ маленькія звѣзды этихъ двухъ созвѣздій, и его старанія увѣнчались успѣхомъ. 29 марта 1807 г. онъ открылъ Весту, которая тотчасъ же оказалась планетой. Чтобы пока-

зать, какъ упорно преслѣдовалъ Ольберсъ свое дѣло, мы укажемъ на его собственное, впослѣдствіи напечатанное заявленіе, что онъ изслѣдовалъ одни и тѣ же части неба съ такой правильностью, что можетъ съ совершенной увѣренностью сказать, что тамъ не прошла ни одна новая планета между 1808 и 1816 гг. Гауссъ и Буркгартъ вычислили орбиту Весты; и когда Гауссъ сравнилъ одну изъ вычисленныхъ имъ орбитъ съ 22 наблюденіями Бувара, то онъ нашелъ ошибки около 17 секундъ въ прямомъ восхожденіи и нѣсколько меньше въ склоненіи.

Элементы всѣхъ этихъ орбитъ были постепенно исправляемы и этимъ занимались преимущественно нѣмецкіе математики *). Послѣ того, какъ вычислены были ихъ возмущенія, въ берлинскихъ «Эфемеридахъ» были напередъ вычислены и указаны мѣста нахожденія планетъ на небѣ въ извѣстное данное время, преимущественно прежде и послѣ ихъ оппозиціи. «Я недавно наблюдалъ,» говоритъ профессоръ Айри, «и сравнилъ съ показаніями берлинскихъ Эфемеридъ прямыя восхожденія Юноны и Весты и нашелъ, что они даже гораздо точнѣе, чѣмъ показанія относительно Венеры.» Такъ блистательно подтверждали теорію эти новыя тѣла и такъ точны были методы, посредствомъ которыхъ выводились слѣдствія изъ этой теоріи **).

*) Airy, *Report*. 157.

**) Методъ Гаусса опредѣлять элементы эллиптическихъ орбитъ этихъ планетъ на основаніи первыхъ наблюденій находится въ его классическомъ сочиненіи «Motus corporum coelestium» (Литтровъ).

Всѣ эти новооткрытыя планеты, какъ мы видимъ, получили названія, заимствованныя изъ древней миѳологіи. Относительно названія первой изъ нихъ, Урана, мнѣнія астрономовъ были несогласны между собой; самъ открывшій ее назвалъ ее Georgium sidus, Георгіева звѣзда, въ честь своего покровителя, Георга III. Лаландъ же и другіе называли эту планету «Гершель». Ничего не можетъ быть справедливѣе какъ увѣковѣчивать подобнымъ образомъ славу человѣка, сдѣлавшаго открытіе; но большинству астрономовъ казалось несообразнымъ нарушать однородность ряда названій прежнихъ планетъ. Они нашли для этого новаго члена нашей планетной системы еще одно мѣсто между божествами, въ число которыхъ и онъ былъ принятъ въ качествѣ Урана, или отца непосредственно слѣдовавшаго за нимъ Сатурна.

И съ тѣхъ поръ миѳологическая номенклатура для планетъ стала общепринятой. Піацци назвалъ свою планету Ceres Ferdinandea. Первое названіе, которое заключало въ себѣ двойной намекъ на Сицилію, страну ея открытія, и богиню древности, было принято всѣми; а комплиментъ королю въ этомъ научномъ открытіи, какъ и во множествѣ другихъ подобныхъ, былъ оставленъ. Паллада, Юнона и Веста были названы прямо безъ всякихъ особыхъ соображеній при выборѣ этихъ названій, которыя были указаны самими открывателями ихъ.

(3-е изд.). *Малыя планеты.* — Открытіе малыхъ планетъ, вращающихся между орбитами Марса и Юпи-

тера, не было ни слѣдствіемъ, ни подтвержденіемъ ньютоновой теоріи. Эта теорія не представляетъ никакихъ объясненій разстоянія этихъ планетъ отъ солнца; и вообще еще нѣтъ теоріи, которая бы представила что-нибудь въ объясненіе этихъ разстояній. Зато есть эмпирическая формула, составленная берлинскимъ астрономомъ Боде, такъ-называемый Законъ Боде, для правильности котораго не достаетъ еще одной планеты между Марсомъ и Юпитеромъ. Если предположить такую планету, то разстоянія между Меркуріемъ, Венерою, Землею, Марсомъ, недостающей и только предполагаемой планетой, Юпитеромъ, Сатурномъ и Ураномъ выразятся приблизительно слѣдующими числами:

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196,

въ которыхъ каждый послѣдующій членъ больше предъидущаго на число, соотвѣтствующее ему въ слѣдующемъ ряду:

3, 3, 6, 12, 24, 48, 96; т. е.

$$4,\ (4+3)=7,\ (7+3)=10,\ (10+6)=16,$$
$$(16+12)=28,\ (28+24)=52,\ (52+48)=100,$$
$$100+96)=196.$$

На основаніи этого закона нѣмцы сочинили «давно ожидавшуюся Планету» и составляли общества для ея открытія.

Этотъ законъ не только побудилъ астрономовъ искать Недостающей Планеты и такимъ образомъ повелъ къ открытію Малыхъ Планетъ, но имѣлъ еще свою долю участія въ открытіи Нептуна. На основаніи этого закона можно было ожидать, что планета, находящаяся за Ураномъ, будетъ находиться на разстояніи отъ

солнца, выражаемомъ числомъ 388 (= 196 + 192). Адамсъ и Леверрье оба и полагали почти такое разстояніе для предположенной ими планеты, т. е. почти въ 38 разъ больше разстоянія земли. Правда, впослѣдствіи было найдено, что оно больше только въ 30 разъ; однако законъ Боде все-таки былъ существенно полезенъ при полученіи результата. И Айри замѣчаетъ, что исторія открытія Нептуна показываетъ, какъ важно при всякихъ изслѣдованіяхъ имѣть какую-нибудь готовую, напередъ составленную теорію, хотя бы эта теорія была бы только вѣроятной *).

Въ извѣстной части пространства между Марсомъ и Юпитеромъ открыто было такъ много Малыхъ Планетъ, что на нихъ стали смотрѣть какъ на сложнаго собирательнаго представителя Недостающей Планеты. Прежде всего было предположено, что всѣ эти малыя планеты должны проходить приблизительно чрезъ одинъ общій узелъ, и это предположеніе основано было на той смѣлой мысли, что эти планетки составляли нѣкогда одну планету, которая потомъ разорвалась на части. Надъ этимъ узломъ и сталъ наблюдать Ольберсъ и выжидалъ ихъ здѣсь, какъ выжидаютъ непріятеля въ какомъ-нибудь узкомъ проходѣ. Такимъ путемъ были открыты Церера, Паллада и Юнона отъ 1801 до 1804 г.; а Веста была схвачена въ этомъ проходѣ въ 1807 г. Затѣмъ охота за новыми планетами въ этомъ же пространствѣ нѣсколько времени была безуспѣшна. Но чрезъ 38 лѣтъ, къ удивленію

*) Account of the Discovery of Neptune, et caet. Mem. Astr. Soc., vol. XVI, p. 414.

астрономовъ, планеты стали снова появляться здѣсь во множествѣ. Въ 1845 Генке открылъ пятую такую планету, которая была названа Астреей. Поэтому охота за ними началась снова. Въ 1847 были открыты Геба, Ирида и Флора; въ 1848 Метида; въ 1849 Гигея; въ 1850 Партенопа, Викторія, Эгерія; въ 1851 Ирена и Эвномія; въ 1852 Психея, Ѳетида, Мельпомена, Фортуна, Массилія, Лутеція, Калліопа. Къ этимъ присоединено еще теперь (въ концѣ 1856) 19 другихъ; такъ что число всѣхъ извѣстныхъ доселѣ малыхъ планетъ простирается до 42. [1])

Какъ видно изъ приведеннаго перечня малыхъ планетъ, и до сихъ поръ сохранился прежній обычай называть планеты миѳологическими именами. И сначала, пока число малыхъ планетъ было еще не велико, каждая изъ нихъ обозначалась въ астрономическихъ книгахъ какимъ-нибудь символомъ, соотвѣтствовавшимъ характеру миѳологическаго лица, имя котораго она носила; подобно тому какъ Марсъ съ давнихъ поръ обозначался знакомъ, похожимъ на копье, а Венера—знакомъ похожимъ на зеркало. Такимъ образомъ когда открыта была малая планета въ Лондонѣ въ 1851 г., въ которомъ праздновалось торжество мира Большой Выставкой Произведеній Всего Свѣта, собранныхъ въ эту столицу, то ей дали имя Ирены (миръ) въ воспоминаніе о счастливомъ времени ея открытія. Также принятъ былъ символъ для нея—голубь съ масличной вѣткой. Но большое количество малыхъ планетъ дѣлало неудобнымъ на практикѣ всякое другое обозначе-

[1]) Въ 1866 г число открытыхъ малыхъ планетъ возросло до 89. *Изд.*



ніе ихъ кромѣ числоваго. Поэтому теперь они обозначаются небольшимъ кругомъ съ цифрой въ срединѣ, показывающей порядокъ ея открытія. Такимъ образомъ напр. Церера обозначается (1), Ирена (14) и Изида (42).

Быстрота, съ какой дѣлались эти открытія, происходила отчасти оттого, что составлены были звѣздныя карты, въ которыхъ обозначены были всѣ извѣстныя неподвижныя звѣзды; и потому легко было узнавать новыя и движущіяся звѣзды, сличая небо съ картой. Эти карты составлены были астрономами различныхъ странъ по мысли берлинской академіи; но съ тѣхъ поръ онѣ получили гораздо большую полноту и теперь заключаютъ въ себѣ гораздо больше малыхъ звѣздъ, чѣмъ было ихъ на первоначальныхъ картахъ.

Считаю нелишнимъ сказать здѣсь о томъ, по скольку открывали малыхъ планетъ въ каждый годъ. Послѣ начала, сдѣланнаго Генке открытіемъ Астреи въ 1845 г., тотъ же астрономъ открылъ Гебу въ 1847 и въ томъ же году Гиндъ въ Лондонѣ открылъ двѣ другія: Ириду и Флору. Года 1848 и 1849 дали каждый по планетѣ; 1850 — три; 1851 — двѣ; 1852 годъ ознаменовался необыкновеннымъ открытіемъ 8 новыхъ членовъ планетной системы. 1853 г. далъ 4; 1854—6; 1855—4, а 1856 еще до своего окончанія далъ уже 5. [2])

Эти открытія сдѣланы были на различныхъ обсерваторіяхъ Европы. Свѣтлое небо Неаполя представило

---

[2]) Въ 1856 было открыто 5 планетъ, 57—8, 58—5, 59—1, 60—5, 61—10, 62—5, 63—2, 64—3, 65—3, 66—4, и одна планета (Мелета) была открываема два раза въ 56 и 61 г. *Изд.*

7 новыхъ планетъ, открытыхъ телескопомъ Гаспариса. Въ Марсели открыта одна планета; въ Германіи четыре, ихъ открылъ Лутеръ въ Билкѣ; въ Парижѣ открыто 7; Гиндъ на частной обсерваторіи Бишопа въ Лондонѣ, несмотря на наше пасмурное небо, открылъ не менѣе 10 планетъ; въ Лондонѣ же Мартъ открылъ ㉙ Амфитриду. Грагамъ на частной обсерваторіи Купера въ Ирландіи открылъ ⑨ Метиду.

Америка также участвовала въ открытіи планетъ, именно тамъ открыта ㉛ Евфросинія Фергюсономъ въ Вашингтонѣ, и Погсонъ изъ Оксфорда открылъ 42-ю изъ этихъ малыхъ планетъ, которая была названа Изидой *).

Въ заключеніе я прибавлю, что по самымъ лучшимъ вычисленіямъ оказывается, что масса этихъ тѣлъ весьма незначительна. Гершель считаетъ діаметръ Цереры въ 35 миль, а діаметръ Паллады въ 26 миль. Послѣ того вычислено **), что нѣкоторыя изъ нихъ еще меньше; Викторія напр. имѣетъ діаметръ въ 9 миль, Лутеція въ 8, а Аталанта меньше 4 миль. Изъ этого слѣдуетъ, что вся масса каждой изъ нихъ вѣроятно меньше $^1/_6$ части нашей луны. Поэтому возмущающія вліянія ихъ другъ на друга ничтожны; но онѣ сами претерпѣваютъ возмущенія отъ другихъ планетъ, въ особенности отъ Юпитера.

---

§ 6. Приложеніе Ньютоновой Теоріи къ Кометамъ.

Мы должны сказать еще нѣсколько словъ о дру-

*) Брунсъ, *Мемуаръ*, 1856. **) Ibid.



гомъ классѣ тѣлъ, которыя на первый взглядъ кажутся движущимися безпорядочно и неправильно подобно облакамъ и вѣтру и движеніе которыхъ астрономія подвела однако подъ правильные законы, подобные тѣмъ, какіе управляютъ другими небесными тѣлами. Я говорю здѣсь о Кометахъ. Ни одна часть ньютоновскихъ открытій не возбуждала болѣе напряженнаго интереса, чѣмъ эта. Эти странные посѣтители неба встрѣчались съ удивленіемъ и ужасомъ; и ихъ можно бы и теперь обвинить въ томъ, что они «тревожатъ народы», хотя теперь эти тревоги и и опасенія бываютъ уже очень непохожи на прежнія. Предположеніе, что и они также подчиняются закону всеобщаго тяготѣнія, подтвердилось бы только тогда, когда было бы доказано, что кривая, описанная ими, и есть именно та линія, которую должна произвести сила тяготѣнія. Гевеліусъ, одинъ изъ ревностнѣйшихъ наблюдателей этихъ небесныхъ тѣлъ, представлялъ себѣ, что они движутся по параболамъ; но это представленіе его не имѣло никакого отношенія къ тяготѣнію *). Опредѣленіе элементовъ параболы посредствомъ наблюденій даже Ньютонъ называлъ труднѣйшей проблемой. Онъ самъ опредѣлилъ орбиту кометы 1680 г. посредствомъ графическаго метода. Его методъ предполагаетъ, что орбита кометы есть парабола, и удовлетворительно представляетъ движеніе ея въ видимой нами части ея орбиты. Но этотъ методъ не даетъ возможности опредѣлить возвращеніе блуждающей звѣзды. Галлею

---

*) Bailly, *Hist. Astr.* II, 246.

принадлежитъ честь перваго открытія періодической Кометы, которая съ тѣхъ поръ носитъ его имя. Это великое открытіе было результатомъ многихъ и трудныхъ работъ. Въ 1705 г. Галлей *) объяснилъ, какимъ образомъ параболическая орбита можетъ быть опредѣлена на основаніи трехъ наблюденій, и, для примѣра, самъ вычислилъ положенія и орбиты 24 кометъ. Въ награду за эти труды онъ нашелъ, что кометы 1607 и 1531 г. имѣютъ ту же самую орбиту, какъ и комета 1682 г.; и промежутки между появленіями этихъ кометъ почти одинаковы, именно 75 или 76 лѣтъ. А можетъ быть всѣ эти три кометы суть одна комета. Слѣдя назадъ по исторіи появленія кометъ, онъ нашелъ, что упоминается о явленіи кометъ въ 1456, 1380 и 1305 гг. Промежутки между этими появленіями почти одинаковы, тоже 75 или 76 лѣтъ. Послѣ этого невозможно уже было сомнѣваться, что эти промежутки суть періоды вращающагося тѣла, что комета есть такая же планета, что ея орбита есть длинный эллипсисъ, а не парабола **).

Но если это справедливо, то комета должна была

*) Bailly, II, 646.

**) Важность работъ Галлея о кометахъ признана всѣми. Говоря о Synopsis astronomiae cometicae Галлея, Деламбръ выражается такъ (Ast. XVIII Siècle): «Voilà bien, depuis Kepler, ce qu'on a fait de plus grand, de plus beau, de plus neuf en astronomie.» Галлей, предсказывая появленіе кометы въ 1758 г., говоритъ: «если она появится, hoc primum ab homine Anglo inventum fuisse non inficiabitur aequa posteritas».



снова явиться въ 1758 или 1759 г. Галлей смѣло предсказывалъ, что она явится; и исполненіе этого предсказанія ожидалось съ нетерпѣніемъ, какъ новое испытаніе истины теоріи тяготѣнія.

Но при этихъ предсказаніяхъ предполагалось, что комета повинуется только притяженію солнца. Планеты непремѣнно должны возмущать ея движеніе, подобно тому, какъ онѣ возмущаютъ движеніе другъ друга. Спрашивается теперь: какое же вліяніе должны имѣть эти возмущенія на время и обстоятельства ея новаго появленія? Галлей самъ предложилъ этотъ вопросъ, но не пытался разрѣшить его.

Вычисленіе возмущеній, испытываемыхъ кометой, не поддавалось всѣмъ извѣстнымъ до тѣхъ поръ методамъ приближенія и требовало громаднаго труда. «Клеро,» говоритъ Бейли *), «взялся за это дѣло; онъ имѣлъ довольно мужества, чтобы отважиться на это смѣлое предпріятіе, и довольно смѣлости, чтобы одержать побѣду. Трудности возрастали передъ нимъ по мѣрѣ того, какъ онъ подвигался впередъ, но онъ пробивалъ себѣ чрезъ нихъ дорогу при помощи Лаланда и женщины-астронома г-жи Лепотъ. Онъ предсказывалъ, что Галлеева комета достигнетъ своего перигелія 13 апрѣля 1759 г., но при этомъ говорилъ, что этотъ срокъ можетъ измѣниться примѣрно на мѣсяцъ, вслѣдствіе неизбѣжныхъ ошибокъ при вычисленіи, которыя за краткостью времени нужно было производить еще поспѣшно. Комета вполнѣ оправдала его предсказаніе и его предосторожность; она достигла перигелія и яви-

---

*) Bailly, *Hist. Astr.* III, 190.

лась дѣйствительно въ 1759 г., но не 13 апрѣля, а 13 марта.

Въ послѣдніе годы открыто еще двѣ Кометы съ болѣе короткимъ періодомъ *): комета Энке, которая

*) Изъ безчисленныхъ кометъ нашей солнечной системы мы до сихъ поръ знаемъ время обращенія только четырехъ.

Первая есть Галлеева комета, періодъ обращенія которой составляетъ отъ 75 до 76 лѣтъ. Она была наблюдаема въ 1456, 1531, 1607, 1682, 1759 и 1835 гг. Вторая комета Энке имѣетъ періодъ обращенія 3 года и 115 дней; она была уже наблюдаема часто. Третья комета открыта была астрономомъ Біела; ея періодъ составляетъ 6 лѣтъ и 270 дней. Послѣ 28 февраля 1826 г., когда она была открыта, ее наблюдали уже много разъ.

Здѣсь же можно сказать нѣсколько словъ объ упомянутой уже кометѣ 1770 г., періодъ обращенія которой по вычисленіямъ оказывается $5^1/_2$ лѣтъ, но которой не видали ни до, ни послѣ 1770 г. Наконецъ посредствомъ весьма многосложныхъ вычисленій было найдено, что эта комета въ 1767 г. весьма близко прошла мимо Юпитера, самой большой планеты нашей солнечной системы, вслѣдствіе чего ея первоначальная, вѣроятно весьма эксцентрическая орбита измѣнилась въ періодъ изъ $5^1/_2$ лѣтъ. На этой новой орбитѣ можно было бы видѣть ее въ слѣдующемъ 1776 г., когда ее дѣйствительно и ожидали; но въ это благопріятнѣйшее для ея наблюденій время она находилась какъ разъ почти за солнцемъ. Чрезъ три года потомъ она встрѣтила, какъ показали вычисленія, Юпитера во второй разъ, въ 1779 г., и снова подошла къ нему такъ близко, что ея орбита, вслѣдствіе притяженія этой сильной планеты, снова измѣнилась, и съ тѣхъ поръ она сдѣлалась для насъ невидима.

Мы можемъ здѣсь еще замѣтить, что періодъ обращенія кометы Энке становится все меньше, причину чего

обращается вокругъ солнца въ три года съ третью, и комета Біелы, которая проходитъ эллиптическую, не очень эксцентричную орбиту въ 6³/₄ лѣтъ. Эти тѣла, имѣющія весьма тонкую и парообразную массу, подобно другимъ кометамъ, вполнѣ подчиняются закону тяготѣнія, какъ показываютъ вычисленія ихъ орбитъ.

(2 изд.). (Третья Комета съ короткимъ періодомъ была открыта Фэ съ Парижской Обсерваторіи 22 ноября 1843 г. Она находится между орбитами Марса и Сатурна и періодъ ея есть 7³/₁₀ лѣтъ. Она обыкновенно называется Кометой Фэ, какъ двѣ упомянутыя выше называются Кометами Энке и Біелы. Въ первомъ изданіи я соглашался съ предложеніемъ Араго, чтобы послѣднюю комету назвать Кометой Гамбарта по имени астронома, который первый доказалъ, что она вращается вокругъ солнца. Но всѣ вообще астрономы употребляютъ первое названіе на томъ основаніи, что открытіе и наблюденіе предмета есть заслуга болѣе

приписываютъ сопротивленію эѳира. А комета Біелы, которую авторъ называетъ кометой Гамбарда, движется по орбитѣ, въ одномъ пунктѣ очень близкой къ земной орбитѣ, такъ что столкновеніе этой кометы съ землей не невозможно. Замѣчательно также, что эта комета можетъ встрѣтиться когда-нибудь съ кометой Энке, потому что орбиты ихъ въ одномъ пунктѣ неба, который относительно солнца имѣетъ 21° долготы и 10° сѣверной широты, близко соприкасаются между собой; такъ что наши потомки, если кометы подойдутъ близко одна къ другой въ половинѣ октября, увидятъ картину борьбы и даже можетъ быть взаимнаго разрушенія этихъ двухъ небесныхъ тѣлъ. (Литтровъ).

определенная и очевидная, чѣмъ вычисленія объ этомъ предметѣ на основаніи наблюденій, сдѣланныхъ другими. И въ самомъ дѣлѣ большая заслуга Біелы состоитъ въ томъ, что онъ открылъ періодичность своей кометы и въ своихъ изслѣдованіяхъ объ ней предполагалъ напередъ возвращеніе ея, основываясь на бывшихъ до него наблюденіяхъ.

Де Вико въ Римѣ также открылъ планету августа 22, 1844 г.; найдено было, что она описываетъ эллиптическую орбиту, имѣетъ свой афелій близъ орбиты Юпитера, и слѣдовательно есть Комета съ короткимъ періодомъ. 26 февраля 1846 г. Брорзенъ въ Килѣ открылъ телескопическую комету, орбита которой также найдена эллиптическою).

Мы скажемъ еще нѣсколько словъ объ исторіи кометы Лекселя, открытой въ 1770 г. Лексель вычислилъ, что періодъ ея обращенія составляетъ около пяти лѣтъ, и поэтому предсказывалъ, что она снова явится въ 1775 г.; однако предсказаніе не оправдалось, и ошибка его достаточно объяснялась тѣмъ, что комета близко подошла къ Юпитеру, вслѣдствіе чего ея орбита должна была совершенно измѣниться.

Изъ теоріи всеобщаго тяготѣнія слѣдуетъ, что кометы суть собранія чрезвычайно тонкой матеріи. О Кометѣ Лекселя предполагаютъ, что она прошла два раза (1767 и 1779) чрезъ систему юпитеровыхъ спутниковъ не возмутивъ ихъ движеній, между тѣмъ какъ сама она потерпѣла отъ нихъ такое большое возмущеніе, что отъ этого совершенно измѣнилась ея орбита. Та же самая мысль еще рѣшительнѣе доказывается послѣднимъ явленіемъ Кометы Біелы. Она яви-

лась двойною; но одна часть ея не производила ни малѣйшаго замѣтнаго измѣненія въ движеніи другой и обратно, какъ сообщилъ мнѣ профессоръ Чаллисъ въ Кембриджѣ, который наблюдалъ ихъ отъ 23 генваря до 25 марта 1846 г. Это доказываетъ, что количество матеріи въ каждомъ изъ этихъ двухъ небесныхъ тѣлъ чрезвычайно мало, т. е. она въ нихъ чрезвычайно разрѣжена.

Такимъ образомъ нѣтъ ни одного возможнаго движенія небесныхъ тѣлъ, которое бы не подтверждало теоріи Ньютона всеобщаго тяготѣнія. Возвращеніе Галлеевой Кометы въ 1835 г. и та удивительная точность, съ какой предсказано было это явленіе ея, составляютъ такія свидѣтельства истины, которыя должны казаться поразительными даже для людей, мало интересующихся астрономическими предметами *).

§ 7. Приложеніе Ньютоновой Теоріи къ Фигурѣ Земли.

Такимъ образомъ небеса были спрошены объ ученіи Ньютона и отвѣтъ, данный ими въ тысячѣ разнообразныхъ формъ, былъ тотъ, что оно вѣрно; такъ что самое придирчивое и строгое изслѣдованіе не въ со-

*) Гумбольдтъ («Космосъ», стр. 116) говоритъ о девяти явленіяхъ кометы Галлея, считая комету, наблюдавшуюся въ Китаѣ въ 1378 г., за Галлееву комету. Но если мы даже примемъ 1378 или 1380 годъ за время явленія ея въ этомъ столѣтіи и начнемъ считать съ него, то все-таки получимъ только 7 явленій, именно въ 1378 или 1380, въ 1456, въ 1531, въ 1607, въ 1682, въ 1759 и въ 1835.



стоянія было открыть въ немъ никакого противорѣчія или несостоятельности. Тотъ же самый вопросъ былъ предложенъ также Землѣ и Океану, и мы должны здѣсь кратко указать на результаты этого вопроса.

По принципамъ Ньютона земля, по своей формѣ, должна быть шаромъ, нѣсколько сплюснутымъ у полюсовъ. Такой видъ земли, или по крайней мѣрѣ величина сплюснутости, зависитъ не только отъ притяженія и его закона обратной квадратной пропорціональности, но еще и оттого, что каждая часть земной массы отдѣльно подчинена этому закону. И поэтому опытное подтвержденіе формы земли, предполагаемой по вычисленіямъ на основаніи Ньютонова закона, было бы подтвержденіемъ всей его теоріи въ обширнѣйшемъ смыслѣ. Подтвержденіе такого рода было тѣмъ болѣе необходимо въ интересахъ науки, что французскіе астрономы, на основаніи своихъ измѣреній, составили и связали съ своими картезіанскими воззрѣніями мнѣніе, будто-бы земля не сплюснута, а удлинена. Доминикъ Кассини измѣрилъ 7 градусовъ широты отъ Амьена до Перпиньяна въ 1701 г. и нашелъ, что они уменьшаются отъ юга къ сѣверу. Продолженіе этого измѣренія до Дюнкирхена дало такой же результатъ. Но если вѣрно ученіе Ньютона, то явленіе должно имѣть противоположный этому видъ по мѣрѣ приближенія къ полюсу.

Единственный отвѣтъ, который могли дать ньютоніанцы на это возраженіе, представленное наблюденіемъ, былъ тотъ, что такая малая дуга, какая была измѣрена, еще не достаточна для того, чтобы окончательно рѣшить вопросъ, тѣмъ болѣе, что неизбѣж-

ныя ошибки при наблюденіи могли увеличить разницу, о которой идетъ здѣсь рѣчь. Безъ всякаго сомнѣнія Англичане должны были бы дать болѣе полный отвѣтъ и предпринять измѣреніе болѣе точное и безошибочное; это было такъ сказать ихъ національное дѣло. Однако честь такого измѣренія досталась на долю другимъ націямъ. Французы великодушно и энергически принялись за это дѣло *). Въ 1733 г. въ одномъ изъ засѣданій Французской Академіи, въ которомъ обсуждался этотъ вопросъ, Лакондаминъ, энергическій и живой человѣкъ, для рѣшенія этого вопроса предложилъ послать членовъ академіи, чтобы они измѣрили градусъ меридіана подлѣ экватора, для сравненія его съ градусами, измѣренными во Франціи, и предлагалъ себя для этой экспедиціи. Мопертюи также настаивалъ на необходимости другой экспедиціи для измѣренія градуса вблизи полюса. Французское правительство благосклонно приняло эти предложенія, и эти замѣчательныя научныя миссіи были снаряжены на національный счетъ.

Какъ только сталъ извѣстенъ результатъ этихъ измѣреній, не могло быть ни малѣйшаго сомнѣнія въ сплюснутости земли, и вопросъ состоялъ только въ томъ, чтобы опредѣлить, какъ велика эта сплюснутость. Еще прежде возвращенія этихъ экспедицій Кассини и Лакаль измѣрили дугу меридіана во Франціи и нашли ошибки въ прежнихъ измѣреніяхъ, совершенно измѣнявшія результатъ. Ихъ собственныя измѣренія показали, что земля у полюсовъ сплюснута

*) Bally, III. 11.

на $^1/_{168}$ часть своего діаметра. Экспедиціи, посланныя въ Перу и Лапландію, должны были бороться со многими трудностями при исполненіи своего намѣренія. И разсказы ихъ объ этихъ трудностяхъ похожи скорѣе на какую-нибудь романическую исторію, чѣмъ на ученое монотонное повѣствованіе объ измѣреніи. Для измѣренія экваторіальнаго градуса наблюдатели употребили не менѣе 8 лѣтъ. Когда наконецъ обѣ экспедиціи возвратились и сравнили полученные ими результаты, то разница въ количествахъ оказалась значительная. Изъ сравненія перуанской и французской дуги Эллиптичность земли выходила около $^1/_{314}$, а сравненіе градуса Перу съ лапландскимъ давало около $^1/_{213}$.

Ньютонъ на основаніи своей теоріи и посредствомъ чрезвычайно остроумныхъ соображеній нашелъ, что эллиптичность составляетъ $^1/_{230}$; но этотъ результатъ онъ получилъ, предполагая, что масса земли вездѣ однородна. Если же земля, какъ мы можемъ съ вѣроятностью предположить, гораздо плотнѣе во внутренности, чѣмъ на поверхности, то эллиптичность ея должна быть меньше, чѣмъ эллиптичность однороднаго по всей массѣ сфероида, вращающагося съ одинаковой быстротой. Ньютонъ не зналъ этого; но Клеро въ 1743 г. въ своей «Figure de la terre» доказалъ этотъ результатъ и нѣсколько другихъ важныхъ результатовъ и разъяснилъ, что они вытекаютъ изъ притяженія отдѣльныхъ частицъ. Въ особенности же онъ показалъ, что чѣмъ меньше Эллиптичность земли, т. е. чѣмъ больше ея Сплюснутость, тѣмъ сильнѣе должна

быть тяжесть у полюсовъ сравнительно съ тяжестью на экваторѣ; и этимъ связалъ эллиптичность земли, получаемую посредствомъ измѣренія градусовъ, съ эллиптичностью, получаемою посредствомъ наблюденія надъ маятникомъ въ различныхъ широтахъ земной поверхности.

Болѣе медленный ходъ часовъ съ маятникомъ по мѣрѣ приближенія къ экватору уже давно былъ замѣченъ Рише и Галлеемъ, и Ньютонъ указывалъ на него какъ на подтвержденіе своей теоріи. Часы съ маятникомъ употреблялись французскими академиками, измѣрявшими градусы меридіана, и при этомъ подтвердился тотъ же результатъ.

Когда такимъ образомъ въ общихъ чертахъ подтвердилось ученіе Ньютона, оставались еще дальнѣйшіе, дополнительные шаги, которые представляли значительныя трудности. Были сдѣланы превосходныя измѣренія градусовъ и наблюденія надъ качаніями маятника въ различныхъ широтахъ, и дали различные результаты. Измѣренія градусовъ показывали эллиптичность въ $^1/_{298}$, а наблюденія надъ маятникомъ въ $^1/_{285}$. Эта разница значительна, если сравнить ее съ измѣряемыми величинами; но она не бросаетъ ни малѣйшей тѣни сомнѣнія на вѣрность теоріи. Въ самомъ дѣлѣ какъ измѣреніе градусовъ, такъ и наблюденія надъ маятникомъ подвержены большимъ неправильностямъ, происходящимъ отъ неизвѣстной намъ плотности въ различныхъ частяхъ земли и мѣшающимъ крайней точности и вѣрности нашихъ результатовъ.

Но довольно близкое согласіе между величинами сплюснутости, даваемыми измѣреніемъ градусовъ и на-

блюденіями надъ маятникомъ, не есть единственное доказательство, подтверждающее сплюснутость земли. Слѣдствіе сплюснутости мы можемъ видѣть еще въ слабыхъ кажущихся намъ колебаніяхъ звѣздъ; потому что притяженіе солнца и луны на выдающіяся части земнаго сфероида производитъ предвареніе равноденствій и нутацію земной оси. Предвареніе было извѣстно уже во времена Гиппарха, а существованіе нутаціи предвидѣлъ Ньютонъ; но только искусный въ наблюденіяхъ и усидчивый Брадлей могъ на основаніи астрономическихъ наблюденій опредѣлить малыя величины этихъ явленій. И такъ какъ теперь намъ извѣстна истинная величина предвареній и нутаціи, то это даетъ намъ средство опредѣлить величину Эллиптичности земли, которая происходитъ отъ нихъ. Но посредствомъ вычисленій найдено, что мы не можемъ получить этого опредѣленія, не предполагая какого-нибудь закона плотности въ однородныхъ концентрическихъ слояхъ, изъ которыхъ, какъ мы полагаемъ, состоитъ земля *). Плотность земли, какъ можно предполагать, возрастаетъ по мѣрѣ удаленія отъ поверхности къ центру; принимая этотъ законъ и основываясь на двухъ лунныхъ возмущеніяхъ или Неравенствахъ (одно въ широтѣ, а другое въ долготѣ), которыя происходятъ отъ сплюснутости земли, мы получаемъ для Эллиптичности земли величину въ 1/300. Тотъ же результатъ даетъ и нутація. Такимъ образомъ по всему вѣроятно, что эллиптичность земли дѣйствительно близка къ этой дроби.

---

*) Airy, *Fig. Earth*, p. 235.



(2-е изд.) Я долженъ упомянуть здѣсь еще о другомъ классѣ явленій, которыя происходятъ вслѣдствіе Сплюснутости Земли согласно съ закономъ всеобщаго тяготѣнія, именно объ измѣненіяхъ въ Движеніи Луны, происходящихъ отъ Эллиптичности Земли. Въ этомъ случаѣ, какъ и во многихъ другихъ, наблюденіе предшествовало теоріи. Масонъ на основаніи лунныхъ наблюденій заключилъ о существованіи нѣкотораго Возмущенія въ Долготѣ луны, зависящаго отъ разстоянія Узла Луны отъ Равноденствія. Астрономы сначала сомнѣвались, дѣйствительно ли существуетъ подобное неравенство; но Лапласъ показалъ, что оно существуетъ и происходитъ отъ сплюснутой формы земли, и что величина этого возмущенія можетъ служить для опредѣленія величины сплюснутости земли. Въ тоже время Лапласъ показалъ, что вмѣстѣ съ этимъ неравенствомъ въ Долготѣ должно существовать еще неравенство въ Широтѣ; и это дѣйствительно подтвердилъ Бургъ изслѣдованіями наблюденій. Оба эти Неравенства, опредѣленныя въ своей величинѣ наблюденіями, согласно даютъ для эллиптичности земли дробь $^1/_{305}$.

§ 8. Подтвержденіе Ньютоновой Теоріи Опытами надъ Притяженіемъ.

Притяженіе всѣхъ частицъ земли одна другою было доказано опытами, въ которыхъ принималась въ соображеніе вся масса земли. Но затѣмъ сдѣланы были попытки измѣрить притяженіе небольшихъ отдѣльныхъ массъ, напр. горъ или искусственныхъ массъ. Этого

рода опыты представляли большія трудности; потому что притяженіе такихъ массъ нужно было сравнивать съ притяженіемъ земли, едва замѣтную частицу которой онѣ составляютъ собою. Кромѣ того дѣйствіе притяженія, обнаруживаемаго горою, видоизмѣняется или закрывается разными неизвѣстными или неуловимыми обстоятельствами. При многихъ изъ упомянутыхъ измѣреній градусовъ уже были замѣчаемы нѣкоторыя указанія на притяженіе горъ; но точный опытъ былъ сдѣланъ по мысли Маскелина въ 1774 г. надъ горою Шегаллинъ въ Шотландіи, изслѣдованною минералогически Плайферомъ. Въ результатѣ оказалось, что притяженіе горы оттягиваетъ отвѣсъ на 6 секундъ отъ вертикальнаго направленія; изъ этого Гюттонъ посредствомъ вычисленій вывелъ, что плотность Земли составляетъ $1^4/_5$ плотности Шегаллина, или $4^1/_2$ плотности воды.

Кавендишъ, сообщившій для этихъ вычисленій нѣсколько своихъ методовъ и пособій, самъ сдѣлалъ подобный опытъ въ другой формѣ, употребивъ свинцовые шары около 9 дюймовъ въ діаметрѣ. Опытъ былъ сдѣланъ съ чрезвычайной точностью и аккуратностью, что только и могло дать ему цѣну; результатъ его довольно близко согласовался съ результатами опытовъ надъ Шегаллиномъ, и давалъ плотность земли около $5^1/_3$ плотности воды. Почти такой же результатъ былъ полученъ Карлини въ 1824 г. изъ наблюденій надъ маятникомъ, сдѣланныхъ на Альпахъ (на Монъ-Сени), на значительной высотѣ надъ поверхностью земли.

(3-е изд.). *Плотность Земли.*— Такъ-называемый опытъ Кавендиша—измѣреніе притяженія различныхъ небольшихъ массъ посредствомъ крутительныхъ вѣсовъ, съ цѣлью опредѣлить Плотность Земли—былъ повторенъ недавно профессоромъ Рейхомъ въ Фрейбергѣ и Бейли въ Англіи съ величайшей тщательностью и возможной точностью. Результатъ, полученный Рейхомъ, даетъ плотность земли 5,44; а результатъ Бейли — 5,92. Результатъ, полученный самимъ Кавендишемъ, былъ 5,48; новѣйшія повторенія этого опыта дали 5,52 *).

Но статическое дѣйствіе притяженія небольшихъ массъ и даже горъ очень незначительно. Но это незначительное дѣйствіе можетъ быть увеличено посредствомъ суммированія постоянно повторяющихся выраженій или эффектовъ его въ качаніяхъ маятника и такимъ образомъ можетъ сдѣлаться замѣтнымъ. Айри пытался опредѣлить плотность земли методомъ, основаннымъ на этомъ соображеніи. Качанія маятника на поверхности были сравниваемы съ качаніями равнаго ему маятника на большой глубинѣ отъ поверхности. Разница во временахъ качанія этихъ двухъ маятниковъ показывала разницу въ силѣ тяжести, дѣйствующей въ этихъ двухъ мѣстахъ, и такимъ образомъ давала средства для опредѣленія плотности земли. Въ 1826 и въ 1828 г. Айри производилъ этотъ опытъ въ минѣ мѣднаго рудника въ Долькосѣ въ Корнуэллѣ; но опытъ не удался вслѣдствіе разныхъ причинъ. Въ 1854 г. онъ повторилъ тотъ же

*) Вычисленіе было повѣрено Эдуардомъ Смитомъ, Humboldt, *Kosmos*, II, p. 425.



опытъ въ каменноугольной копи въ Доргэмѣ, глубина которой составляетъ 1260 футовъ; здѣсь онъ имѣлъ ту выгоду, что время въ обоихъ мѣстахъ наблюденія обозначалось постоянно и одинаково дѣйствіемъ электромагнетизма; тогда какъ въ прежнемъ опытѣ нужно было переносить часы съ одного мѣста на другое. Результаты его опытовъ показывали плотность земли 6,56. Эта цифра значительно больше тѣхъ, какія получались въ предшествующихъ опытахъ; но по увѣренію Айри его результатъ имѣетъ преимущество надъ другими.

§ 9. Приложеніе Ньютоновой Теоріи къ Приливамъ и Отливамъ.

Наконецъ мы переходимъ къ предмету, относительно котораго еще многое остается сдѣлать, чтобы онъ могъ считаться несомнѣннымъ подтвержденіемъ закона всеобщаго тяготѣнія, именно къ Приливамъ и Отливамъ. Однако и здѣсь теорія поразительно подтверждается сдѣланными до сихъ поръ наблюденіями. Теорія Ньютона очень удачно объясняла всѣ главнѣйшія, извѣстныя въ то время явленія приливовъ и отливовъ, именно разницу высокихъ и низкихъ приливовъ, вліяніе на нихъ склоненія и параллакса луны и солнца, даже разницу утреннихъ и вечернихъ приливовъ и наконецъ неправильные приливы въ нѣкоторыхъ отдѣльныхъ мѣстахъ. Съ тѣхъ поръ Королевское Общество въ Англіи и Французская Академія старались собрать какъ можно больше наблюденій надъ

этимъ явленіемъ; но эти наблюденія производились безъ необходимаго постоянства. Теорія этого явленія была въ то время развита еще недостаточно; но превосходные трактаты, написанные на премію Эйлеромъ, Бернулли и д'Аламберомъ въ 1740 г. значительно подвинули ее впередъ. Эти трактаты дали средства употребить и здѣсь тотъ же пріемъ, которымъ повѣрялись другія слѣдствія всеобщаго тяготѣнія, именно составленіе таблицъ на основаніи вычисленій и затѣмъ постоянное правильное сравненіе ихъ съ наблюденіями. Лапласъ употребилъ для повѣрки теоріи другой способъ; онъ вычислилъ съ необыкновеннымъ аналитическимъ искусствомъ результаты теоріи и затѣмъ въ предполагаемыхъ критическихъ и рѣшающихъ случаяхъ сравнивалъ ихъ съ наблюденіями въ Брестѣ. Этотъ методъ подтвердилъ теорію, насколько это возможно для него; но онъ не устранялъ необходимости употребить настоящій критерій истины въ такихъ случаяхъ, именно составленіе и повѣрку таблицъ. Теорія Бернулли была употреблена для составленія таблицъ приливовъ и отливовъ; но эти таблицы собственно и не были сравнены съ наблюденіями, или такъ какъ онѣ сравнивались скорѣе для практическихъ выгодъ, чѣмъ въ интересахъ науки, то результаты его и не были обнародованы и не могли служить для подтвержденія теоріи.

Такимъ образомъ и до сихъ поръ мы не имѣемъ еще удовлетворительныхъ сравненій теоріи съ фактами, такъ какъ сравненія Лапласа еще нельзя назвать удовлетворительными. Въ этомъ, какъ и во всѣхъ другихъ изслѣдованіяхъ по физической астрономіи,

наша теорія должна согласоваться не только съ нѣсколькими отборными и извѣстнымъ образомъ сгруппированными наблюденіями, но со всѣмъ ходомъ и со всей массой наблюденій и со всякой частью явленія. Въ этомъ, какъ и въ другихъ случаяхъ, вѣрную теорію можно было бы узнать по тому, что она дала бы намъ наилучшія таблицы явленія. Но на основаніи теоріи Лапласа, сколько я знаю, не было составлено таблицъ приливовъ и отливовъ и потому она еще и до сихъ поръ не получила должнаго подтвержденія.

Зная тотъ путь, какимъ астрономія дошла до совершенства, невольно удивляешься, какимъ образомъ ученые надѣялись развить ученіе о приливахъ и отливахъ только посредствомъ улучшенія математической теоріи, безъ одновременнаго наблюденія самыхъ явленій. Во всѣхъ другихъ отдѣлахъ астрономіи, напр. въ отдѣлѣ о лунѣ и планетахъ, главные факты явленій были открыты наблюденіями гораздо прежде, чѣмъ явилась теорія для объясненія ихъ. Способъ, который аналогія указываетъ намъ для усовершенствованія нашихъ познаній о приливахъ и отливахъ, состоитъ въ томъ, чтобы посредствомъ анализа длиннаго ряда наблюденій узнать измѣненія этого явленія во время кульминаціи, параллакса и склоненія луны, и такимъ образомъ узнать законы явленія, а потомъ уже заняться изслѣдованіемъ его причинъ.

Хотя математики теоретики и не шли этимъ путемъ, но зато его держались тѣ, которые практически составляли таблицы приливовъ и отливовъ; и такъ какъ примѣненіе знанія къ обыкновеннымъ житейскимъ цѣлямъ и выгодамъ отдѣлилось такимъ об-

разомъ отъ разъясненія теоріи, то пріобрѣтаемыя практически знанія считались доходной собственностью и держались въ секретѣ. Искусство, въ этомъ случаѣ, хотѣло освободиться отъ своего законнаго подчиненія Наукѣ или, лучше сказать, лишилось руководства, которое обязана была давать ему наука, и потому снова обратилось къ своей прежней таинственности и исключительности. Ливерпуль, Лондонъ и другія мѣста имѣли свои собственныя таблицы приливовъ и отливовъ, составленныя по необнародованнымъ правиламъ, которыя въ нѣкоторыхъ случаяхъ передавались отъ отца къ сыну во многихъ поколѣніяхъ какъ родовая собственность; и обнародованіе новыхъ таблицъ съ указаніемъ способовъ ихъ составленія считалось нарушеніемъ правъ собственности.

Способъ, которымъ получались эти секретные методы составленія таблицъ, уже указанъ нами, — это анализъ значительнаго ряда наблюденій. Вѣроятно самыми лучшими таблицами были Ливерпульскія. Онѣ были составлены однимъ духовнымъ лицомъ, по имени Гольденомъ, на основаніи наблюденій, сдѣланныхъ въ Ливерпульскомъ портѣ начальникомъ его Гётчинсономъ, который по своей любви къ этому предмету тщательно наблюдалъ приливы и отливы день и ночь въ теченіе почти двадцати лѣтъ. Таблицы Гольдена, составленныя на основаніи только пяти лѣтъ этихъ наблюденій, были замѣчательно точны.

Наконецъ и люди науки стали понимать, что такія вычисленія—ихъ дѣло; что они обязаны, какъ защитники установившейся теоріи вселенной, сравнивать ее съ возможно большимъ количествомъ фактовъ. Лоб-

бокъ былъ первый математикъ, предпринявшій обширныя работы въ этомъ отношеніи. Онъ нашелъ, что въ Лондонскихъ докахъ съ 1795 г. производились правильныя наблюденія надъ приливами и отливами, выбралъ изъ нихъ наблюденія за 19 лѣтъ (время періода движеній лунной орбиты) и въ 1831 г. далъ произвести надъ ними вычисленія Дессіу, искусному счетчику. Такимъ образомъ онъ получилъ *) Таблицы, показывающія дѣйствіе на Приливы и Отливы Склоненія Луны, ея Параллакса и ея Кульминаціи; и на основаніи полученныхъ такимъ образомъ результатовъ составилъ уже собственно таблицы приливовъ и отливовъ. Нѣкоторыя ошибки въ этихъ таблицахъ перваго изданія, не имѣвшія важности для теоретическаго пониманія предмета, послужили для завистливыхъ практическихъ составителей таблицъ предлогомъ къ ожесточеннымъ нападеніямъ на нихъ. Однако уже черезъ нѣсколько лѣтъ оказалось, что эти таблицы, составленныя открытымъ научнымъ методомъ, были гораздо точнѣе, чѣмъ составленныя секретными способами, и практика такимъ образомъ была приведена въ должное подчиненіе теоріи.

Лоббокъ взялъ для сравненія съ своими результатами Теорію Равновѣсія Данінла Бернулли; и при этомъ оказалось, что эта теорія съ нѣкоторыми видоизмѣненіями ея элементовъ до замѣчательной степени согласуется съ наблюденіями. Лоббокъ показалъ это согласіе особенно въ полумѣсячномъ неравенствѣ временъ прилива. Впослѣдствіи (1833) Уэвелль показалъ, что

*) Phil. Trans. 1831. British Almanac, 1832.



по наблюденіямъ, сдѣланнымъ въ Ливерпулѣ, эта теорія еще болѣе согласна съ фактами, и во Времени, и въ Высотѣ прилива *), такъ какъ въ то время уже были разработаны Лоббокомъ 19 лѣтъ изъ наблюденій Гётчинсона въ Ливерпулѣ. Другія неравенства и уклоненія во временахъ и высотахъ приливовъ, зависящія отъ Склоненія и Параллакса Луны и Солнца, тоже различнымъ образомъ были сравниваемы съ теоріей равновѣсія Лоббокомъ и Уэвеллемъ. Окончательнымъ результатомъ этихъ изслѣдованій было, что факты приливовъ согласуются съ условіями равновѣсія до извѣстнаго предварительнаго времени и что это время различно для различныхъ явленій. Также точно изъ этихъ изслѣдованій вытекало, что для объясненія фактовъ масса луны должна быть предполагаема различною при вычисленіи для различныхъ мѣстъ земли. Тотъ же результатъ былъ полученъ и Досси **), дѣятельнымъ французскимъ гидрографомъ; потому что онъ нашелъ, что наблюденія на различныхъ мѣстахъ не могутъ быть соглашены съ формулой Лапласа въ Mécanique Céleste (въ которой отношенія высотъ приливовъ опредѣляются предполагаемой опредѣленной массой луны), если не предполагать измѣненія въ высотѣ уровня воды, что на дѣлѣ равнялось бы предположенію измѣненія массы луны. Все такимъ образомъ заставляетъ думать, что теорія равновѣсія Бернулли можетъ дать формулы для неравенствъ въ приливахъ и отливахъ, но что величины, входящія въ

*) Phil. Trans. 1834

**) Connaisance des Temps, 1838.

эти формулы, должны быть опредѣлены наблюденіями.

Совмѣстенъ ли такой результатъ съ теоріей, это— вопросъ не столько Физической Астрономіи, сколько Гидродинамики, и до сихъ поръ онъ еще не рѣшенъ. Полная Теорія Приливовъ и Отливовъ, которая обнимала бы всѣ производныя части этого явленія и ихъ комбинаціи, требуетъ большаго совершенства въ математическомъ и механическомъ анализѣ.

Какъ на прибавленіе къ опытнымъ матеріаламъ для рѣшенія этой гидродинамической проблемы, можно указать здѣсь на попытки Уэвелля опредѣлить распространеніе приливовъ и отливовъ по всѣмъ морямъ земнаго шара посредствомъ такъ-называемыхъ Котидальныхъ Линій, линій, обозначающихъ одновременное положеніе различныхъ точекъ большой волны, которая несетъ приливъ отъ берега къ берегу *). Это дѣло необходимо сопряжено съ большими трудностями, потому что для этого требуется знать положеніе высшей воды прилива каждый день во всѣхъ частяхъ свѣта. Но зато чѣмъ дальше будетъ подвигаться это дѣло, тѣмъ больше оно дастъ намъ средствъ связать общій видъ движеній океана съ явленіями, представляемыми его частями въ разныхъ отдѣльныхъ мѣстахъ.

Смотря на этотъ предметъ при свѣтѣ, который распространяетъ исторія астрономическихъ открытій, мы еще разъ повторяемъ, что онъ до тѣхъ поръ не будетъ вполнѣ разъясненъ, пока его не станутъ изслѣдовать

*) Essay towards a First Approximation to a Map of Cotidal Linies. *Phil. Transact.* 1833, 1836.



такъ, какъ изслѣдуются другія части астрономіи, т. е. пока не будутъ составлены таблицы всѣхъ относящихся сюда явленій на основаніи наилучшихъ имѣющихся у насъ свѣдѣній объ этомъ предметѣ, и пока эти таблицы не будутъ постоянно исправляемы посредствомъ сравненія предсказываемыхъ ими фактовъ съ фактами, совершившимися въ дѣйствительности. Рядъ обсерваторій и эфемеридъ для наблюденія приливовъ и отливовъ тотчасъ же дастъ этому предмету точность, какой отличаются другія части астрономіи; если при этомъ и останутся необъясненныя явленія, то они будутъ собраны вмѣстѣ и внимательный наблюдатель найдетъ въ нихъ матеріалъ для истинъ, которыхъ мы даже и не подозрѣваемъ теперь.

(2-е изд.) Что въ Движеніяхъ Океана, называемыхъ приливами и отливами, должны быть неравенства или колебанія въ высотѣ и временахъ Высокой и Низкой Воды, соотвѣтствующія тѣмъ, на которыя указываетъ теорія равновѣсія, это есть только предположеніе, не подтвержденное сравненіемъ съ наблюденіями. Однако это предположеніе очень естественно; потому что воды океана въ каждое мгновеніе стремятся принять положеніе, какое предполагаетъ теорія равновѣсія. Также точно можно думать, что причины, которыя препятствуютъ имъ принять это положеніе, производятъ почти постоянное дѣйствіе на каждомъ данномъ мѣстѣ. Что бы мы ни думали объ этомъ предположеніи, но оно подтверждается наблюденіями съ любопытной точностью. Большое число явленій, относящихся къ приливамъ и отливамъ, напр. Полумѣсячное Неравенство Высотъ, Полумѣсячное Неравенство Временъ, Су-

точное Неравенство, вліяніе Луннаго Параллакса вполнѣ соотвѣтствуютъ формуламъ, полученнымъ на основаніи теоріи равновѣсія. Гидродинамическій способъ изслѣдованія этого предмета не прибавилъ ничего къ нашимъ познаніямъ объ немъ, полученнымъ на основаніи другаго образа воззрѣнія.

Мысль Лапласа, что въ движущейся жидкости движенія должны имѣть періодичность, соотвѣтствующую періодичности силъ, есть также только предположеніе. И хотя въ нѣкоторыхъ случаяхъ оно и можетъ быть подтверждено, однако въ настоящемъ случаѣ оно не можетъ имѣть приложенія; потому что періодическое движеніе океана задерживается препятствіями со стороны материковъ, простирающихся почти отъ полюса до полюса.

Въ статьѣ Айри «О Приливахъ, Отливахъ и Волнахъ» (въ «Encyclopaedia Metropolitana») сдѣлано очень многое для соглашенія съ наблюденіями гидродинамической теоріи Океаническихъ Приливовъ и Отливовъ. Въ этомъ удивительномъ произведеніи, Айри съ необыкновеннымъ искусствомъ разрѣшилъ проблемы, которыя близко подходятъ и соотвѣтствуютъ дѣйствительнымъ явленіямъ. Онъ также нашелъ законы Полудневнаго и Дневнаго прилива и другія побочныя явленія отливовъ, которыя до нѣкоторой степени объясняются и теоріей равновѣсія; но онъ также, принимая во вниманіе дѣйствіе тренія, показалъ, что каждый дѣйствительный приливъ долженъ быть представляемъ какъ слѣдствіе предшествующаго, что въ тѣхъ случаяхъ, когда на основаніи приливовъ и отливовъ заключаютъ о Массѣ Луны, нужно еще обращать

вниманіе на Глубину Океана; и вообще получилъ много другихъ результатовъ, разительно подтверждающихся фактами, замѣченными наблюденіемъ. Онъ также показалъ, что отношеніе Котидальныхъ Линій къ дѣйствительнымъ Волнамъ приливовъ въ сложныхъ случаяхъ весьма неопредѣленно и темно; потому что различныя волны различной величины и идущія по разнымъ направленіямъ могутъ соединяться и дѣйствовать вмѣстѣ, и Котидальная Линія въ этомъ случаѣ есть сложный результатъ всѣхъ этихъ волнъ.

Относительно Картъ Котидальныхъ Линій, упомянутыхъ въ текстѣ, я могу прибавить, что мы и до сихъ поръ не имѣемъ еще наблюденій, которыя дали бы намъ возможность провести такія линіи на громадныхъ пространствахъ Тихаго океана. Однако адмиралъ Литке сообщилъ намъ нѣсколько матеріаловъ и замѣчаній объ этомъ предметѣ въ своемъ «Notice sur les Marées Périodiques dans le grand Océan Boréal et dans la Mer Glaciale». Онъ провелъ Котидальныя Линіи въ Бѣломъ морѣ на основаніи достаточнаго числа данныхъ.

(3-е изд.). *Приливы и Отливы.*—Изъ благодарности къ тѣмъ, которые практически помогали мнѣ въ моихъ изслѣдованіяхъ о Приливахъ и Отливахъ, я долженъ упомянуть здѣсь о длинномъ рядѣ наблюденій надъ ними, сдѣланныхъ на берегахъ Европы и Америки въ іюнѣ 1835 г., при содѣйствіи адмиралтейства и по ходатайству герцога Веллингтона, бывшаго въ то время министромъ иностранныхъ дѣлъ. Наблюденія надъ приливами и отливами были сдѣланы въ

теченіе двухъ недѣль на сторожевыхъ станціяхъ по всему берегу Великобританіи и Ирландіи въ 1834 г.; и такія же наблюденія были повторены въ іюнѣ 1835 г. и въ тоже самое время производились наблюденія по всѣмъ берегамъ Европы отъ Нордкапа въ Норвегіи до Гибралтарскаго пролива и отъ устья рѣки св. Лаврентія до устьевъ Миссисипи. Результаты этихъ наблюденій въ томъ, что касается береговыхъ приливовъ и отливовъ, были очень полны и сообщены въ «Phil. Transactions» за 1836 г.

Болѣе точныхъ наблюденій надъ приливами и отливами на берегахъ сѣверной Америки нужно ожидать отъ изслѣдованій, производимыхъ тамъ подъ руководствомъ суперъ-интендента Бача. Также производятся дальнѣйшія наблюденія надъ приливами и отливами въ англійскомъ каналѣ; и явленія, замѣченныя здѣсь, представлены съ новой точки зрѣнія адмираломъ Бичи.

Приливы и отливы на берегахъ Ирландіи были тщательно изслѣдованы Айри. Были сдѣланы многочисленныя и тщательныя наблюденія съ цѣлью опредѣлить прежде всего то, что̀ можно назвать «Уровнемъ Моря»; но результаты этихъ наблюденій вмѣстѣ съ тѣмъ показали свойства и движенія на ирландскихъ берегахъ различныхъ неравенствъ въ приливахъ и отливахъ, о которыхъ уже говорилось выше въ текстѣ.

Изъ сравненія наблюденій, сдѣланныхъ надъ приливами и отливами въ 1836 г., я получилъ любопытный результатъ, что въ Нѣмецкомъ морѣ, на срединѣ разстоянія между Ловестофтомъ на англійскомъ

берегу и Бриллемъ на голландскомъ, должно существовать мѣсто, гдѣ приливы и отливы не бываютъ. И этотъ результатъ подтвердился наблюденіями, сдѣланными капитаномъ Геветтомъ, которому тогда былъ порученъ надзоръ за этими берегами.

Котидальныя Линіи представляютъ, какъ я увѣренъ, хорошій и простой методъ изображать поступательное движеніе и связь береговыхъ приливовъ и отливовъ. Но проведеніе котидальныхъ линій на берегахъ океана будетъ очень ненадежнымъ способомъ изображенія явленій, до тѣхъ поръ, пока мы не будемъ имѣть объ этомъ предметѣ гораздо больше знаній, чѣмъ имѣемъ теперь. Въ «Phil. Trans.» за 1848 г. я описалъ приливы и отливы Тихаго океана и выразилъ тамъ мое мнѣніе, что Береговые Приливы и Отливы производятся прогрессивной и поступательной волной, между тѣмъ какъ Океаническіе Приливы и Отливы больше походятъ на стоячія волнообразныя движенія.

Но всѣ неясные пункты въ этомъ вопросѣ разъяснятся и наши познанія объ немъ получатъ надлежащую полноту только тогда, когда снаряженъ будетъ корабль или даже нѣсколько кораблей съ спеціальной цѣлью наблюдать явленія приливовъ и отливовъ. А отрывочныя и случайныя наблюденія, сдѣланныя между другимъ дѣломъ, никогда не подвинутъ насъ дальше того пункта, на которомъ мы стоимъ.

ГЛАВА V.

Открытія, слѣдовавшія за Теоріей Ньютона.

§ 1 Таблицы Астрономической Рефракціи

НА предъидущихъ страницахъ мы прошли обширное поле астрономическихъ и математическихъ трудовъ и на каждомъ шагу чувствовали себя подъ властью ньютоновыхъ законовъ. Мы находились въ универсальной монархіи, изъ которой никто не могъ удалиться, не оставляя въ тоже время и всего свѣта. Теперь же мы укажемъ на нѣкоторыя другія открытія, въ которыхъ это подчиненіе закону всеобщаго тяготѣнія менѣе непосредственно и очевидно. Я разумѣю здѣсь астрономическія открытія относительно Свѣта.

Открытіе истиннаго закона Атмосферической Рефракціи привело астрономовъ къ другимъ общимъ истинамъ объ Уклоненіи лучей свѣта, заключающемъ въ себѣ рефракцію, и къ вѣрнымъ понятіямъ о формѣ и строеніи нашей Атмосферы. Великія открытія Рёмера и Брадлея [15]), именно открытіе Скорости Свѣта, Абер-

раціи свѣта и Нутаціи земной оси дали большую отчетливость прежнимъ понятіямъ о распространеніи свѣта и вмѣстѣ съ тѣмъ подтвердили ученіе Коперника, Кеплера и Ньютона о движеніи земли.

Истинные законы атмосферической рефракціи были открыты весьма медленно. Тихо де-Браге приписалъ причину рефракціи, или кажущагося перемѣщенія небесныхъ тѣлъ, низшимъ и плотнѣйшимъ частямъ атмосферы и думалъ, что рефракція совершенно исчезаетъ въ срединѣ между зенитомъ и горизонтомъ; но Кеплеръ справедливо распространилъ дѣйствіе рефракціи даже до самаго зенита. Доминикъ Кассини старался открыть посредствомъ наблюденій законы этой рефракціи и свои результаты представилъ въ формѣ таблицъ, которыя бы могли употребляться при всѣхъ наблюденіяхъ, въ формѣ, которая, какъ мы уже говорили, есть единственно научная. Но въ то время исполненіе такого дѣла представляло большія трудности; потому что параллаксы солнца и планетъ были еще неизвѣстны, и различные астрономы принимали для нихъ разныя величины. Чтобы устранить нѣкоторыя изъ этихъ трудностей, Рише въ 1762 г. отправился дѣлать наблюденія на экваторѣ; и по своемъ возвращеніи далъ Кассини средства подтвердить и исправить его прежнія опредѣленія величины параллакса и рефракціи. Но и послѣ этого все-еще оставались другія трудности. На основаніи соображеній, основанныхъ на явленіи сумерекъ, полагали, что наша атмосфера имѣетъ высоту только 34 тысячи туазовъ (=6 фут.) *);

*) Bailly, *Hist. Astr.* II, 612.

между тѣмъ какъ Лагиръ на основаніи рефракціи или преломленія свѣта полагалъ ее только въ 2,000 туазовъ. Иванъ Кассини рѣшился подтвердить и исправить вычисленія своего отца Доминика Кассини и составилъ вѣрное предположеніе, что свѣтъ идетъ чрезъ атмосферу криволинейнымъ путемъ. Королевское Общество въ Лондонѣ уже прежде подтвердило опытно рефрактивную или преломляющую силу воздуха *). Ньютонъ составилъ по вычисленіямъ Таблицы Рефракціи, которыя были напечатаны въ «Philosophical Transactions» за 1721 г. подъ именемъ Галлея, но безъ всякаго указанія на методъ, посредствомъ котораго онѣ составлены. Біо, на основаніи напечатанной корреспонденціи Флемстида, недавно доказалъ **), что Ньютонъ разрѣшилъ проблему способомъ, весьма близко соотвѣтствующимъ усовершенствованнымъ методамъ новѣйшаго анализа.

Доминикъ Кассини и Пикаръ показали, а Лемонье въ 1738 г. подтвердилъ тотъ фактъ, что на Рефракцію имѣетъ вліяніе температура или показаніе Термометра. Майеръ, принимая во вниманіе измѣненіе температуры и измѣненіе, показываемое Барометромъ, составилъ теорію, которую Лакаль съ большимъ трудомъ приложилъ къ составленію таблицъ рефракціи на основаніи наблюденій. Но таблицы Брадлея, напечатанныя Маскелиномъ въ 1763 г., были болѣе употребительны въ Англіи, и его формула, полученная первоначально эмпирическимъ путемъ, вытекаетъ, какъ доказалъ Юнгъ,

*) Ibid. II, 68.
**) Biot. *Acad. Sc. Compte Rendu*, Sept. 5, 1836.

изъ самыхъ вѣроятныхъ предположеній, какія только мы можемъ сдѣлать относительно атмосферы. Таблицы Рефракціи Бесселя считаются самыми лучшими изъ всѣхъ существующихъ.

§ 2. Открытіе Скорости Свѣта. Рёмеръ.

Астрономическая исторія рефракціи не ознаменована никакимъ великимъ открытіемъ, и она была большей частью дѣломъ усидчиваго труда. Но другія открытія относительно свѣта болѣе поразительны. Въ 1676 г. было собрано множество наблюденій надъ затмѣніями юпитеровыхъ спутниковъ, и они были сравнены съ таблицами Кассини. Рёмеръ, датскій астрономъ, котораго Пикаръ привезъ въ Парижъ, замѣтилъ, что эти затмѣнія въ одно время года случаются раньше срока, назначеннаго въ таблицахъ по вычисленіямъ, а въ другое позже этого срока; и этой разницы астрономы не могли объяснить ничѣмъ. Эта же самая разница оказывалась и относительно всѣхъ спутниковъ. Еслибы это явленіе зависѣло отъ какихъ-нибудь ошибокъ въ таблицахъ Юпитера, то оно конечно замѣтно было бы тоже у всѣхъ спутниковъ, но только у каждаго спутника оно имѣло бы различную форму по различію ихъ скоростей. Значитъ причина явленія лежала гдѣ-нибудь внѣ Юпитера. Рёмеру пришла счастливая мысль сравнить это опаздываніе и ускореніе затмѣній съ разстояніемъ земли отъ Юпитера и онъ нашелъ, что затмѣнія случаются тѣмъ позже, чѣмъ дальше удаляется Юпитеръ отъ земли *). Та-

*) Bailly, *Hist. Astr.* II, 17.

кимъ образомъ мы видимъ затмѣніе тѣмъ позже, чѣмъ дальше оно отстоитъ отъ насъ, и значитъ, свѣтъ, несущій къ намъ извѣстіе объ этомъ событіи, проходитъ свой путь не мгновенно, а въ продолженіе извѣстнаго измѣримаго времени. Посредствомъ такого соображенія найдено, что свѣтъ пробѣгаетъ діаметръ земной орбиты почти въ 11 минутъ. Это открытіе, подобно многимъ другимъ, послѣ того какъ было сдѣлано, казалось весьма легкимъ и неизбѣжнымъ; однако Доминикъ Кассини, хотя и принялъ-было на-время эту идею *), но потомъ оставилъ ее, и Фонтенель публично поздравлялъ его съ тѣмъ, что онъ избавился отъ этого соблазнительнаго заблужденія. Возраженія противъ этой истины большей частью заключались въ неточности наблюденія и въ убѣжденіи, что движенія спутниковъ кругообразны и равномѣрны. Неправильности въ ихъ движеніяхъ какъ-бы скрывали вопросъ, о которомъ идетъ рѣчь; но когда эти неправильности были вполнѣ изучены, тогда открытіе Рёмера установилось окончательно и «Уравненія Свѣта» заняли мѣсто въ таблицахъ этихъ спутниковъ.

§ 3. Открытіе Аберраціи. — Брадлей.

Для дальнѣйшаго шага въ изученіи законовъ свѣта требовались улучшенія въ инструментахъ и вообще въ способахъ наблюденія. Уже изъ теоретическихъ соображеній ясно было, что такъ какъ свѣтъ, идущій отъ какого-нибудь небеснаго тѣла, и наблюдатель,

*) Ibid. II, 419.

смотрящій на него на землѣ, находятся въ движеніи, то свѣтящійся предметъ долженъ быть видимъ ему не по прямой линіи, но по среднему направленію между этими двумя движеніями. Но дѣйствіе этого соединенія движеній, какъ обыкновенно бываетъ въ такихъ случаяхъ, сначала было замѣчено наблюденіемъ, а не выведено было теоретически изъ соображеній. Открытіе Аберраціи Свѣта, это величайшее астрономическое открытіе XVIII вѣка, было сдѣлано Брадлеемъ, бывшимъ въ то время профессоромъ астрономіи въ Оксфордѣ и потомъ королевскимъ астрономомъ въ Гринвичѣ. Молинё и Брадлей въ 1725 г. начали рядъ наблюденій съ цѣлью удостовѣриться посредствомъ наблюденій подлѣ зенита въ существованіи годичнаго параллакса неподвижныхъ звѣздъ, который Гукъ надѣялся найти, а Флемстидъ воображалъ даже, что нашелъ его. Брадлей *) тотчасъ же нашелъ, что наблюдаемая имъ звѣзда имѣла небольшое кажущееся движеніе, отличное отъ того, какое произвелъ бы ея годичный параллаксъ. Сначала онъ подумалъ, что это движеніе можно объяснить движеніемъ земной оси; но, изслѣдовавъ звѣзду на другой сторонѣ полюса, онъ убѣдился, что его догадка не вѣрна. Затѣмъ Брадлей и Молинё вмѣстѣ съ нимъ вообразили, что существуетъ годичное измѣненіе въ земной атмосферѣ, которое можетъ измѣнять и рефракцію; но и эта гипотеза тотчасъ же была оставлена имъ **). Въ 1727 г. Брадлей возобновилъ свои наблюденія съ новымъ

*) Rigaud, *Bradley*. **) Rigaud, p. 23.

инструментомъ въ Ванстидѣ, и нашелъ эмпирическія правила измѣненій въ склоненіи различныхъ звѣздъ. Наконецъ случай обратилъ его мысли въ ту сторону, гдѣ онъ долженъ былъ найти истинную причину открытыхъ имъ измѣненій. Плывя однажды по Темзѣ въ лодкѣ, онъ замѣтилъ, что флагъ на вершинѣ мачты принималъ положеніе, не соотвѣтствующее дѣйствительному направленію вѣтра, когда сама лодка плыла въ томъ или другомъ направленіи. Въ этомъ онъ имѣлъ передъ собой образецъ замѣченныхъ имъ небесныхъ явленій: лодка представляла землю, движущуюся въ различныхъ направленіяхъ въ различныя времена года. Теперь ему осталось вывести только слѣдствіе изъ этого представленія, и онъ нашелъ, что его теорія согласна съ эмпирическими правилами, которыя онъ открылъ прежде. Въ 1729 г. онъ сообщилъ Королевскому Обществу о своемъ открытіи съ полнымъ объясненіемъ его. Его мемуаръ представляетъ собой любопытный разсказъ о его работахъ и мысляхъ. Его теорія была до такой степени основательна, что ни одинъ астрономъ не оспаривалъ ея, и его наблюденія были до такой степени точны, что величина, которую онъ нашелъ для аберраціи ($^1/_{19}$ градуса), почти не была измѣнена новѣйшими астрономами. Нужно замѣтить однако, что Брадлей наблюдалъ дѣйствіе аберраціи только въ склоненіи; опредѣленіе же дѣйствій ея на прямое восхожденіе требовало особыхъ способовъ наблюденія и такой точности въ астрономическихъ часахъ, какая едвали была возможна въ то время.

§ 4. Открытіе Нутаціи.

Когда Брадлей сдѣланъ былъ королевскимъ астрономомъ въ Гринвичѣ, онъ ревностно продолжалъ наблюденія, подобныя тѣмъ, посредствомъ которыхъ онъ открылъ Аберрацію. Результатами ихъ было другое открытіе, именно та самая Нутація, которая приходила ему на мысль и которую онъ самъ же отвергъ. Это можетъ показаться страннымъ; но на дѣлѣ оно понятно. Аберрація есть періодическое движеніе неподвижныхъ звѣздъ, повторяющееся ежегодно въ томъ же порядкѣ и найденное посредствомъ наблюденій неподвижныхъ звѣздъ въ разныя времена года. Нутація же состоитъ въ совершенно особенномъ, тоже правильно повторяющемся движеніи неподвижныхъ звѣздъ; но только періодъ его составляетъ 18 лѣтъ. Такимъ образомъ нутація въ одинъ годъ не много измѣняетъ положеніе звѣзды, и ее можно было открыть только посредствомъ наблюденій въ теченіе нѣсколькихъ послѣдовательныхъ годовъ. Однако Брадлей замѣтилъ дѣйствіе этого измѣненія въ теченіе немногихъ лѣтъ наблюденія *); и еще задолго до половины указаннаго 18-лѣтняго періода онъ связалъ его въ умѣ своемъ съ истинной причиной, съ движеніемъ узловъ луны, которое совершаетъ свой полный періодическій кругъ вокругъ земли также въ 18 лѣтъ. Мэчинъ былъ въ то время секретаремъ Королевскаго Общества въ Лондонѣ и занимался изслѣдованіемъ дѣйствія всеобщаго притяженія на движенія небесныхъ тѣлъ. Бра-

*) Rigaud, ibid. p. 64.

длей сообщилъ ему свои предположенія и воззрѣнія, и тотчасъ же получилъ отъ него таблицу результатовъ его вычисленій объ этомъ предметѣ. Оказалось, что законъ послѣдовательности чиселъ въ таблицахъ согласенъ съ закономъ, полученнымъ изъ наблюденій, хотя величины этихъ чиселъ были нѣсколько различны. Изъ этихъ вычисленій и наблюденій оказалось, что земной полюсъ кромѣ того движенія, отъ котораго происходитъ предвареніе равноденствій, имѣетъ еще другое движеніе, совершающееся по небольшому кругу въ теченіе 18 лѣтъ, или точнѣе, какъ Брадлей нашелъ впослѣдствіи, по эллипсису, котораго большая и малая ось составляютъ 19 и 14 секундъ *).

Для строгого математическаго установленія теоріи того дѣйствія луннаго притяженія, отъ котораго происходитъ явленіе нутаціи, Брадлей благоразумно обратился за помощью къ великимъ математикамъ того времени. Д'Аламберъ, Томасъ, Симпсонъ, Эйлеръ и другіе отозвались на его призывъ; и результатомъ ихъ вычисленій было, какъ мы уже видѣли въ послѣдней главѣ (§ 7), новое и глубокое подтвержденіе ученія о всеобщемъ тяготѣніи.

Деламбръ сказалъ **), что открытія Брадлея «утвердили за нимъ почетнѣйшее мѣсто между астрономами послѣ Гиппарха и Кеплера». Еслибы онъ сдѣлалъ свои открытія прежде открытій Ньютона, тогда его смѣло можно было бы поставить наряду съ этимъ великимъ человѣкомъ. Существованіе такихъ пособій,

*) Rigaud, ibid. p. 66.

**) Delambre *Ast. 18 Siecle.* p. 420.

какія представляла собою Ньютонова теорія для всѣхъ астрономическихъ предметовъ, уменьшаетъ въ нашихъ глазахъ блескъ открытій Брадлея; но это обстоятельство не даетъ намъ права ставить кого-нибудь другаго выше Брадлея, и такимъ образомъ сужденіе Деламбра вполнѣ справедливо и должно остаться неизмѣннымъ.

§ 5. Открытіе Законовъ Двойныхъ Звѣздъ. — Два Гершеля.

Нѣтъ истины, тверже доказанной и больше несомнѣнной, чѣмъ та, что законъ тяготѣнія имѣетъ силу до самыхъ крайнихъ границъ нашей солнечной системы. Но распространяется ли онъ еще дальше? Повинуются ли также и неподвижныя звѣзды этому всемірному закону? Эта мысль и этотъ вопросъ возникаютъ сами собой; но гдѣ же мы найдемъ средства отвѣчать на нихъ фактами наблюденія?

Еслибы неподвижныя звѣзды были уединены и изолированы одна отъ другой, подобно тому, какъ кажется уединеннымъ отъ нихъ наше солнце; то мы едвали были бы въ состояніи отвѣчать на этотъ вопросъ. Но между звѣздами есть нѣсколько такихъ, которыя называются «двойными звѣздами» и которыя дѣйствительно состоятъ изъ двухъ звѣздъ такъ близкихъ одна къ другой, что телескопъ едва можетъ отличать ихъ. Гершель старшій тщательно наблюдалъ и измѣрилъ относительныя положенія двухъ паръ такихъ звѣздъ; и, какъ часто случается въ исторіи астрономіи, стремясь къ одному предмету, онъ пришелъ къ

другому. Предполагая, что эти двойныя звѣзды въ дѣйствительности не связаны между собой вмѣстѣ, какъ онѣ кажутся, онъ хотѣлъ только изъ ихъ явленій узнать что-нибудь относительно годичнаго параллакса земной орбиты. Но въ теченіе 20-лѣтнихъ наблюденій онъ сдѣлалъ открытіе (1803), что нѣкоторыя изъ этихъ двойныхъ звѣздъ обращаются одна вокругъ другой съ различной узловой скоростью. Эти обращенія ихъ такъ медленны, что точнѣйшее опредѣленіе ихъ онъ оставитъ въ наслѣдство слѣдующему поколѣнію. Его сынъ продолжалъ его дѣло и, прибавивъ громадную массу наблюденій къ наблюденіямъ своего отца, сталъ заниматься опредѣленіемъ законовъ движеній этихъ звѣздъ. Въ то же время и другіе, напр. Савари и Энке въ 1830 и 1832 г., старались разрѣшить эту привлекательную проблему съ помощью анализа. Но это была проблема, въ которой данныя были такъ мелки и неточности такъ неизбѣжны, что требовали отъ математиковъ большой ловкости и искусства въ употребленіи и комбинаціи этихъ данныхъ. Гершель младшій взялъ въ основаніе своихъ изслѣдованій только углы, образуемые линіями соединенія двойныхъ звѣздъ, которые могутъ быть наблюдаемы съ относительной точностью, и исключилъ ихъ разстоянія, которыя не могутъ быть измѣрены съ такой точностью; и изобрѣлъ методъ, по которому опредѣленіе движенія дѣлалось на основаніи цѣлой массы наблюденій а не на основаніи только нѣкоторыхъ, выбранныхъ изъ всей группы фактовъ; и вслѣдствіе этого его изысканія были гораздо удовлетворительнѣе другихъ. Изъ его изслѣдованій оказывалось весьма вѣроятнымъ,

что во многихъ двойныхъ звѣздахъ двѣ звѣзды описываютъ эллипсисы одна вокругъ другой, и что такимъ образомъ и на неизмѣримомъ разстояніи отъ нашей солнечной системы дѣйствуетъ законъ притяженія по обратной пропорціональности квадратамъ разстояній. И, какъ всегда дѣлается астрономами, когда установленъ былъ законъ, они тотчасъ же вычислили таблицы для предуказанія будущихъ движеній этихъ тѣлъ; и мы имѣемъ такимъ образомъ эфемериды движеній солнцъ, вращающихся одно вокругъ другаго и отдаленныхъ отъ насъ до такой степени, что еслибы смотрѣть съ нихъ даже въ наши сильнѣйшіе телескопы, то весь кругъ нашей земной орбиты былъ бы незамѣтенъ и невиденъ. Постоянное сравненіе движеній, представляемыхъ наблюденіемъ, съ тѣмъ, какъ они предсказаны въ таблицахъ, есть несомнѣнное и рѣшительное свидѣтельство истинной теоріи; и астрономы ожидаютъ этого свидѣтельства для теоріи двойныхъ звѣздъ.

(2-е изд.) [При вычисленіи орбитъ вращающейся системы двойныхъ звѣздъ представляется особенная трудность, происходящая оттого, что неизвѣстно, въ какомъ положеніи находится плоскость орбиты къ видимому лучу; но вѣроятно въ наклонномъ. Вслѣдствіе этого, если даже орбита есть эллипсисъ, описываемый вокругъ фокусовъ, по законамъ планетнаго движенія, то и тогда онъ будетъ казаться наблюдателю иначе; и истинная орбита такимъ образомъ можетъ быть выведена только изъ кажущейся.

То обстоятельство, что двѣ звѣзды, если онѣ подчинены дѣйствію тяготѣнія, будутъ вращаться не одна

вокругъ другой, а обѣ вмѣстѣ вокругъ одного общаго имъ центра тяготѣнія, — не многимъ увеличиваетъ трудность проблемы. Ньютонъ (Princip. lib. I, prop. 61) въ проблемѣ двухъ тѣлъ разъяснилъ отношеніе между относительными орбитами тѣлъ, вращающихся по разнымъ направленіямъ и между орбитами вокругъ общаго центра тяготѣнія.

Многія ли изъ видимыхъ Двойныхъ звѣздъ имѣютъ движеніе по орбитамъ? Сэръ Джонъ Гершель въ своей астрономіи (Art. 606) въ 1833 г. представилъ списокъ девяти звѣздъ, періоды которыхъ простираются отъ 43 лѣтъ (η Короны) до 1200 лѣтъ (γ Льва); и этотъ списокъ былъ послѣднимъ результатомъ наблюденій, сдѣланныхъ въ этой области. Въ своемъ сочиненіи о Двойныхъ Звѣздахъ, плодѣ его трудовъ въ обоихъ полушаріяхъ, появленія котораго астрономы ожидаютъ съ нетерпѣніемъ, онъ вѣроятно немногое прибавитъ къ этому списку.

Можно ли считать доказаннымъ, что такія Двойныя звѣзды притягиваютъ другъ друга по законамъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній? Отвѣтъ на этотъ вопросъ можетъ быть полученъ только тогда, когда будетъ доказано, что движеніе звѣздъ суть движенія эллиптическія. Этотъ предметъ требуетъ слишкомъ продолжительныхъ и тщательныхъ наблюденій, чтобы собрать множество случаевъ эллиптическаго движенія, на основаніи которыхъ можно было бы установить общій законъ. Астрономы еще не рѣшили для себя этого вопроса. Когда явится сочиненіе сэра Джона Гершеля, тогда вѣроятно окажется, что относительно нѣкоторыхъ изъ этихъ

звѣздъ и относительно въ особенности γ Дѣвы, согласіе наблюдаемыхъ въ нихъ явленій съ законами эллиптическаго движенія до такой степени точно, что можетъ внушить астрономамъ твердое убѣжденіе въ истинѣ закона. Со времени первыхъ измѣреній сэра Вильяма Гершеля въ 1781 г., дуга, описанная одною изъ звѣздъ вокругъ другой, составляетъ около 305°; и угловое годичное движеніе въ теченіе этого періода было весьма различно и проходило чрезъ всѣ градаціи отъ 20′ до 80°. Однако двѣ кривыя для обозначенія движеній этихъ тѣлъ, построенныя одна на основаніи наблюденій, а другая на основаніи вычисленій эллиптическихъ элементовъ, и имѣющія цѣлую ординату изъ 305 частей, при сравненіи ихъ нигдѣ не уклоняются одна отъ другой болѣе, чѣмъ на 2 такихъ части.]

Повѣрка Ньютоновыхъ открытій была достаточной заслугой прошлаго столѣтія. Первый же шагъ къ расширенію этихъ открытій принадлежитъ нашему столѣтію. Мы не можемъ предвидѣть въ настоящее время, къ какимъ открытіямъ поведетъ это обширное дѣло; но каждый долженъ чувствовать, что законъ тяготѣнія, доказанный во всѣхъ частяхъ нашей солнечной системы и съ вѣроятностью предполагаемый даже на безконечныхъ разстояніяхъ неподвижныхъ звѣздъ, представляется нашему уму какъ всеобщій законъ всего матеріальнаго міра.

Такимъ образомъ въ этой и предъидущей главѣ я представилъ краткій очеркъ исторіи подтвержденія и расширенія великаго Ньютоновскаго открытія. По той громадной массѣ работъ и усилій, какой потребовалъ этотъ предметъ, мы можемъ судить о томъ большомъ

приращеніи нашихъ познаній, которое получено было вслѣдствіе этого открытія. Кромѣ талантовъ и особеннаго прилежанія, для этого быстраго прогресса науки требовались еще и внѣшнія вспомогательныя средства. Богатство, знатность, механическое искусство, раздѣленіе труда, сила ассоціаціи и власть правительствъ много и усердно содѣйствовали астрономіи въ достиженіи ею настоящаго высокаго и цвѣтущаго положенія. Въ слѣдующей главѣ мы кратко разсмотримъ отдѣльные виды этого содѣйствія.

(3-е изд.) *Двойныя Звѣзды.* — Сочиненіе сэра Джона Гершеля, о приготовленіи котораго къ изданію мы говорили выше, явилось въ 1847 г. *). Въ этомъ сочиненіи, кромѣ громаднаго количества драгоцѣнныхъ наблюденій и соображеній о разныхъ другихъ предметахъ, напр. о туманныхъ пятнахъ, величинѣ звѣздъ и пр., вычислены орбиты многихъ Двойныхъ Звѣздъ, на основаніи новыхъ наблюденій. Но убѣжденіе Джона Гершеля относительно предмета, о которомъ идетъ здѣсь рѣчь, именно о томъ, дѣйствуетъ ли Ньютоновъ законъ тяготѣнія въ странахъ неподвижныхъ звѣздъ, выражено болѣе ясно въ другомъ сочиненіи, которое онъ напечаталъ въ 1849 г. **). Въ

*) Results of Astronomical Observations made during the years 1834, 5, 6, 7, 8, at the Cape of Good Hope, being the completion of a Telescopic Survey of the whole surface of the visible Heavens commenced in 1825.

**) Outlines of Astronomy.

немъ онъ говоритъ о двойныхъ звѣздахъ и преимущественно о γ Дѣвы, которая была особенно ревностно наблюдаема имъ и представила явленія въ высокой степени интересныя *). Онъ нашелъ, что два члена этой двойной звѣзды вращаются одинъ вокругъ другаго въ періодъ 182 лѣтъ, и говоритъ, что вычисленные имъ теоретически элементы орбитъ согласны съ наблюденіями; угловое движеніе ихъ, составляющее около $^{9}/_{10}$ полнаго круга, опредѣленное теоретически, вполнѣ точно соотвѣтствуетъ наблюденіямъ какъ относительно угла, такъ и относительно разстоянія. Послѣ этого, прибавляетъ онъ, «не остается никакого сомнѣнія въ томъ, что Ньютоновскій Законъ Тяготѣнія имѣетъ силу и въ этой отдаленной системѣ».

Однако Ивонъ де Виларсо старался доказать **), что такого заключенія, какъ оно ни вѣроятно, еще нельзя считать доказаннымъ. Онъ говоритъ, что всѣ результаты наблюденій надъ Двойными Звѣздами, даже надъ тѣми, которыя наблюдались болѣе другихъ, ограничиваются всего только 7 или 8 дѣйствительно опредѣленными данными и что 7 данныхъ еще недостаточны для того, чтобы опредѣлить эллипсисъ, какой должно описывать небесное тѣло, по закону Ньютона. Не входя въ подробности этого возраженія, я могу замѣтить, что болѣе быстрое относительное угловое движеніе тѣлъ, составляющихъ двойную звѣзду, когда они находятся ближе одно отъ другаго, доказываетъ,

*) Outl. 844.

**) Connaissance des Temps для 1852, напечатанный въ 1849 году.

что они вращаются отъ вліянія их взаимныхъ притягательныхъ силъ и согласно Кеплерову закону о площадяхъ. Но что эта сила дѣйствуетъ по закону обратной пропорціональности квадратамъ разстояній, мы не можемъ считать вполнѣ доказаннымъ и не можемъ надѣяться доказать это въ настоящее время особенно, если вспомнимъ тотъ способъ, какимъ этотъ законъ былъ доказанъ для Солнечной Системы. Только вслѣдствіе того, что Тихо открылъ въ наблюденіяхъ ошибку въ 8 минутъ, Кеплеръ получилъ возможность преобразовать схему Солнечной Системы, т. е. доказать, что планетныя орбиты суть эллипсисы, въ фокусахъ которыхъ находится солнце. Но наблюденія надъ двойными звѣздами въ настоящее время еще не могутъ похвалиться такой точностью, чтобы открывать разницу даже въ 8 минутъ; и такимъ образомъ Кеплеровская теорема о площадяхъ не можетъ быть вполнѣ доказана этими наблюденіями. Но съ другой стороны, когда мы знаемъ, что Двойныя Звѣзды удерживаются вмѣстѣ общей центральной силой, то для доказательства того, что эта сила дѣйствуетъ по закону, отличному отъ того, какой былъ найденъ до этого времени во всѣхъ частяхъ вселенной и которому повинуются всѣ до сихъ поръ извѣстныя массы, существующія въ ней, нужны весьма ясныя и отчетливыя доказательства, какихъ астрономы вовсе еще не имѣютъ въ настоящее время.

ГЛАВА VI.

Инструменты и другія вспомогательныя средства астрономіи въ продолженіе ньютоновскаго періода.

---

§ 1. Инструменты.

Астрономія во всѣ времена нуждалась въ инструментахъ. Но наблюденіе достигло значительной степени точности только тогда, когда обращена была серьезная забота на надлежащее устройство инструментовъ. По мѣрѣ того, какъ становилась очевидной возможность и важность крайней точности въ наблюденіяхъ, устанавливалось убѣжденіе, что всякое улучшеніе въ устройствѣ астрономическихъ инструментовъ имѣетъ большую важность для астрономіи. Поэтому одни старались устраивать большіе и дорогіе инструменты, другіе дѣлали въ устройствѣ ихъ новыя комбинаціи, зависѣвшія отъ улучшеній въ другихъ науках. Отъ дѣлателя астрономическихъ инструментовъ требовались обширныя знанія, сообразительность и боль-

шое остроуміе; онъ не былъ уже, какъ прежде, простымъ ремесленникомъ, а сталъ ученымъ человѣкомъ, раздѣляющимъ честь и славу съ самимъ астрономомъ.

1. Инструменты для измѣренія Угловъ.—Тихо де-Браге первый изъ астрономовъ сталъ указывать на важность хорошихъ инструментовъ для наблюденій. Его собственное собраніе инструментовъ въ Уранибургѣ было лучшее изъ всѣхъ тогдашнихъ собраній. Онъ особенно старался о твердой установкѣ инструментовъ и о точности дѣленій на нихъ. Его Стѣнной Квадрантъ былъ особенно удобенъ для работъ; онъ имѣлъ пять локтей въ поперечникѣ; такъ какъ Тихо предполагалъ, что чѣмъ больше инструментъ, тѣмъ меньшіе углы можно измѣрять посредствомъ него. На основаніи такой мысли были устраиваемы въ то время и большіе гномоны. Знаменитый гномонъ Кассини въ церкви Петронія въ Болоньѣ имѣлъ 83 фута (французскихъ) высоты. Но этотъ способъ давать инструментамъ точность вскорѣ былъ оставленъ, потому что были изобрѣтены лучшіе способы. Въ это время были сдѣланы слѣдующія улучшенія въ астрономическихъ инструментахъ. Гюйгенсъ, Мальвазія и Озу примѣнили Микрометръ къ телескопу; затѣмъ Телескопъ былъ примѣненъ къ Астрономическому квадранту, и наконецъ Кроссъ придумалъ укрѣплять въ центрѣ поля телескопа весьма тонкія нити, которыя Гаскоинъ, а впослѣдствіи Пикаръ стали укрѣплять въ фокусѣ телескопа. О томъ, насколько это улучшеніе въ инструментахъ улучшило способы наблюденія, можно судить по тому, что Гевеліусъ отказался принимать ихъ на томъ основаніи, что вслѣдствіе ихъ теряютъ цѣну всѣ прежнія наблю-

денія, сдѣланныя старыми инструментами. Онъ провелъ дѣятельную жизнь, употребляя старые методы, и никакъ не могъ убѣдиться, что всѣ сокровища, которыя онъ собралъ, потеряли цѣну вслѣдствіе новыхъ открытій.

(2-е изд.) [Литтровъ въ своихъ «Die Wunder des Himmels» говоритъ (2 изд., стр. 684 и 685), что Гаскоинъ изобрѣлъ въ 1640 г. и употреблялъ телескопъ съ нитями въ общемъ фокусѣ линзъ; въ доказательство онъ ссылается на «Phil. Trans.» XXX, 603. Пикаръ во второй разъ изобрѣлъ это устройство въ 1667 г. Объ изобрѣтеніи микрометра Гаскоиномъ я уже говорилъ.

Рёмеръ, о которомъ мы уже упоминали, ввелъ въ употребленіе Транзитный Инструментъ, или меридіональный кругъ, и сталъ употреблять полные Круги вмѣсто Квадрантовъ, какъ дѣлалось до сихъ поръ, и этими средствами далъ новую форму практической астрономіи, достойно оцѣненную только впослѣдствіи.]

Когда такимъ образомъ достигнута была возможность опредѣлять, посредствомъ новыхъ способовъ, положеніе предмета въ инструментѣ, тогда оказалось необходимымъ какъ можно точнѣе раздѣлять дугу инструмента на градусы и ихъ подраздѣленія. Рядъ художниковъ, преимущественно англичанъ, пріобрѣли себѣ почетное мѣсто въ спискѣ именъ, извѣстныхъ своими услугами наукѣ, тѣмъ, что сдѣлали много усовершенствованій по этой части; и въ то время сдѣланы были инструменты, которые пользовались особенной репутаціей и пріобрѣли историческую извѣстность. Грагамъ былъ однимъ изъ первыхъ въ ряду этихъ художниковъ; онъ

устроилъ большую Стѣнную Дугу для Галлея въ Гринвичѣ, а для Брадлея—Секторъ, посредствомъ котораго была открыта аберрація. Онъ же устроилъ и тотъ Секторъ, которымъ французскіе академики производили наблюденія въ Лапландіи, и по всей вѣроятности отличное качество этого инструмента въ сравненіи съ тѣмъ несовершеннымъ инструментомъ, которымъ производились наблюденія въ Перу, было одной изъ причинъ, почему лапландская экспедиція скорѣе кончила свои работы, чѣмъ перуанская. Нѣсколько позже *), именно около 1750 г., Бирдъ сдѣлалъ раздѣленія на квадрантахъ для многихъ общественныхъ обсерваторій. Его методъ раздѣленія до такой степени считался удовлетворительнымъ, что англійское правительство купило у него секретъ и обнародовало во всеобщее свѣдѣніе въ 1767 г. Не менѣе извѣстенъ и Рамсденъ. Ошибки лучшаго его Квадранта, находящагося въ Падуѣ, никогда, говорятъ, не бываютъ больше чѣмъ на двѣ секунды. Впослѣдствіи Рамсденъ устраивалъ уже только цѣлые Стѣнные Круги, такъ какъ онъ считалъ ихъ гораздо лучшимъ инструментомъ чѣмъ квадрантъ. Въ 1788 г. онъ устроилъ одинъ такой кругъ въ 5 футовъ въ поперечникѣ для Піацци, въ Палермо, и другой въ 11 футовъ для обсерваторіи въ Дублинѣ. Труфтонъ, достойный преемникъ этихъ художниковъ, изобрѣлъ способъ раздѣленія круга гораздо лучшій, чѣмъ прежніе, теоретически вполнѣ совершенный, а практически дающій наибольшую точность. Этимъ методомъ были устрое-

*) Montucla, IV, 337.

ны круги для Гринвича, Армафа, Кембриджа и другихъ мѣстъ; и вѣроятно этотъ методъ при надлежащемъ его примѣненіи даетъ астрономамъ самую большую точность, какой только они могутъ достигнуть при ихъ другихъ вспомогательныхъ средствахъ. Но малѣйшее несчастіе съ этимъ инструментомъ, или даже неувѣренность въ томъ, правильно ли приложенъ къ нему методъ дѣленій, могутъ сдѣлать его негоднымъ для наблюденія новыхъ до щепетильности точныхъ астрономовъ.

Англійскіе художники думали достигнуть точности измѣренія посредствомъ постояннаго раздѣленія на 2 части или на другія подраздѣленія лимба ихъ круговъ. Но Майеръ предложилъ для этой цѣли другое средство, именно нѣсколько разъ повторяющееся измѣненіе различныхъ частей окружности до тѣхъ поръ, пока ошибка дѣленій на инструментѣ не сдѣлается незначительной и для этого изобрѣлъ такъ-называемый Повторяющій Кругъ. Французы приняли этотъ методъ; но относительное превосходство его надъ другими методами все-еще составляетъ предметъ спорный.

(2-е изд.). [Въ ряду этихъ замѣчательныхъ астрономическихъ художниковъ мы должны поставить еще Георга Рейхенбаха. Онъ родился 24 августа 1772 г. въ Дурлахѣ; былъ лейтенантомъ артиллеріи баварской службы въ 1794 г.; коммиссіонеромъ соляныхъ промысловъ въ 1811, а въ 1820 г. сдѣланъ былъ коммиссіонеромъ водяныхъ сухопутныхъ сообщеній. Вмѣстѣ съ Фрауэнгоферомъ онъ взялся снабдить инструментами механическій и оптическій институтъ, устроенный въ 1805 г. Уцшнейдеромъ въ Бенедиктбейернѣ.

Его астрономическіе инструменты, Меридіональные и Экваторіальные круги и Геліометры составляютъ эпоху въ Практической Астрономіи. Его труды въ соляныхъ производствахъ подлѣ Рейхенгаля и Бергтесгадена, по оружейному заводу въ Амбергѣ и пушечному производству въ Вѣнѣ, служатъ памятниками его рѣдкаго механическаго таланта. Онъ умеръ 21 мая 1826 г. въ Мюнхенѣ].

2. Часы.—Улучшенія въ измѣреніяхъ пространства требовали соотвѣтствующихъ улучшеній въ измѣреніи времени. Началомъ точности въ этихъ измѣреніяхъ можно считать примѣненіе Маятника къ Часамъ, сдѣланное Гюйгенсомъ въ 1656 г. Что преемственныя качанія маятника совершаются въ равныя единицы времени, это уже было показано Галилеемъ; но для того, чтобы воспользоваться этимъ свойствомъ. маятникъ нужно было связать съ механизмомъ, который бы противодѣйствовалъ постепенному ослабленію его движеній и вмѣстѣ съ тѣмъ указывалъ бы число сдѣланныхъ имъ качаній. Изобрѣвъ такой механизмъ, Гюйгенсъ получилъ мѣру времени болѣе точную, чѣмъ само солнце. Вслѣдствіе этого астрономы получили возможность опредѣлять прямое восхожденіе звѣзды не прямо посредствомъ измѣренія Разстояній на небѣ, но непрямымъ образомъ посредствомъ наблюденія Времени ея Кульминацій. Послѣ этого, наблюденія дѣлались съ такой точностью, которая на первый разъ можетъ показаться даже превышающей человѣческія чувства: астрономъ можетъ отличить и замѣтить даже десятую часть секунды времени, въ которую совершается кульминація. Но это будетъ понятно и вѣро-

ятно, когда мы замѣтимъ, что хотя указаніе числа секундъ, въ которыя совершается кульминація, дается часами и узнается по количеству протекшаго времени, однако подраздѣленіе секунды времени на болѣе мелкія доли совершается уже глазомъ: астрономъ видитъ пространство, проходимое небеснымъ тѣломъ въ цѣлую секунду, и по этому уже опредѣляетъ меньшія доли времени, дѣля мысленно это пространство и замѣчая ту часть его, на которой совершается мгновенное явленіе, напр. кульминація или прохожденіе звѣзды.

Но для того, чтобы получить часы, показывающіе время съ надлежащей точностью, нужно было сдѣлать въ нихъ многія усовершенствованія, которыя и дѣлались послѣдовательно разными лицами. Пикаръ тотчасъ же замѣтилъ, что часы Гюйгенса измѣняются въ ходѣ вслѣдствіе температуры, потому что теплота производитъ расширеніе металлическаго маятника. Причина этого недостатка устранена была тѣмъ, что маятникъ сдѣланъ былъ изъ различныхъ металловъ, напр. изъ желѣза и мѣди, которыя расширяются неодинаково и такимъ образомъ дѣйствія ихъ различнаго расширенія взаимно компенсируются. Впослѣдствіи Грагамъ употреблялъ для той же цѣли ртуть. Также былъ усовершенствованъ такъ-называемый ходъ (Echappement), т. е. тотъ приводъ, который соединяетъ силу, движущую часы, съ маятникомъ, который регулируетъ ее; а потомъ постепенно дѣлались усовершенствованія и въ другихъ частяхъ механизма лучшими и остроумнѣйшими художниками. Благодаря всѣмъ этимъ усовершенствованіямъ, астрономы настоящаго времени, постоянно свѣряя ходъ астрономическихъ

часовъ съ движеніями неподвижныхъ звѣздъ, имѣютъ въ нихъ такую точную и неизмѣнную единицу времени, какія мы имѣемъ для измѣренія пространствъ.

Устройство совершенныхъ карманныхъ часовъ, или такъ-называемыхъ переносныхъ морскихъ часовъ, было важно въ другомъ отношеніи; такъ какъ они могли быть употреблены для опредѣленія долготъ различныхъ мѣстъ. Поэтому улучшеніе этой маленькой машины сдѣлалось предметомъ національной заботливости и оно включено было въ премію изъ 20,000 фунтовъ стерл., которые, какъ мы уже говорили, парламентъ назначилъ за открытіе способа измѣренія долготъ. Гаррисонъ *), бывшій сначала столяромъ, посвятилъ себя этому важному предмету и имѣлъ успѣхъ. Послѣ 30 лѣтъ опытовъ и труда, въ теченіе которыхъ его ободряли и поощряли многія важныя лица, онъ устроилъ наконецъ въ 1758 г. измѣритель времени, который былъ испытанъ во время плаванія въ Ямайку. Послѣ 161 дней ошибка часовъ составляла только 1 минуту и 5 секундъ; и художникъ получилъ въ награду отъ своей націи 5.000 фунт. стерл. Впослѣдствіи времени на 75 году **) своей жизни, посвященной этому предмету, онъ представилъ парламентской коммиссіи еще лучшіе часы и въ 1765 г. получилъ еще 10,000 фунт. стерл.; въ то самое время, когда Эйлеръ и наслѣдники Майера получили по 3,000 фунт. за составленныя ими лунныя таблицы.

Такимъ образомъ два метода опредѣленія долготъ

---

*) Montucla, *Hist. des Math.* IV, 554.

**) Montucla, ibid. IV, 560.



посредствомъ Хронометра и посредствомъ Наблюденій надъ Луною разрѣшили проблему удовлетворительнымъ образомъ для практическихъ цѣлей. Но последній методъ не могъ быть употребляемъ на морѣ безъ помощи особеннаго инструмента, Секстанта, которымъ опредѣляется разстояніе двухъ предметовъ тѣмъ, что одинъ изъ нихъ приводятъ въ кажущееся совпаденіе съ отраженнымъ изображеніемъ другаго. Этотъ инструментъ былъ изобрѣтенъ Гадлеемъ въ 1831 г. Хотя проблема опредѣленія долготъ и есть скорѣе географическая, чѣмъ астрономическая проблема, однако она есть приложеніе астрономической науки, содѣйствовавшее прогрессу нашихъ знаній, и потому заслуживала быть упомянутой здѣсь.

(3-е изд.). *Часы.*—Выше я описалъ способъ, посредствомъ котораго астрономы могутъ наблюдать прохожденіе звѣзды и другіе астрономическіе феномены съ точностью $^1/_{10}$ секунды времени. Этотъ способъ состоитъ въ томъ, что наблюдатели въ моментъ наблюденія сравниваютъ впечатлѣнія зрѣнія съ впечатлѣніями слуха. Но теперь оказалось, что ловкость, съ какой наблюдатель производитъ эту операцію, различна у различныхъ наблюдателей, такъ что одинъ наблюдатель показываетъ время совершенія извѣстнаго явленія раньше или позже, чѣмъ другой; и это повторяется въ каждомъ случаѣ. Такимъ образомъ этотъ способъ подверженъ ошибкамъ; потому что то сличеніе, посредствомъ котораго изъ многихъ неправильностей мы получаемъ правильность, есть сличеніе толь-

ко личное. Можно ли избавиться отъ этихъ ошибокъ?

Эти ошибки по крайней мѣрѣ сильно уменьшены посредствомъ метода наблюденія, введеннаго недавно въ обсерваторіяхъ и придуманнаго въ Америкѣ. Сущность этого способа состоитъ въ сочетаніи впечатлѣній зрѣнія съ впечатлѣніемъ осязанія, вмѣсто слуха, какъ было въ прежнемъ способѣ. Наблюдатель въ моментъ наблюденія давитъ пальцемъ, такъ что это давленіе производитъ значекъ на машинѣ, которая своимъ движеніемъ измѣряетъ время съ большой точностью и на большой скалѣ; и такимъ образомъ самые малые промежутки времени дѣлаются видимыми и замѣтными.

Общепринятую хотя и не необходимую часть этого механизма составляетъ гальваническій кружокъ, посредствомъ котораго впечатлѣніе отъ пальца передается той машинѣ, которая измѣряетъ и отмѣчаетъ время. Легкость, съ какой гальваническая проволока передаетъ впечатлѣніе мгновенно на какое угодно разстояніе, и возможность увеличивать силу гальванизма до какой угодно степени, были причиной того, что гальваническій приводъ сдѣлался необходимой частью механизма, посредствомъ котораго дѣлаются наблюденія при помощи осязанія.

Этотъ методъ прежде всего сталъ употреблять Боккъ въ Кембриджѣ въ Сѣверной Америкѣ, затѣмъ онъ принятъ былъ и въ другихъ мѣстахъ, въ особенности въ Гринвичѣ, гдѣ онъ употребляется при всѣхъ инструментахъ; и такимъ образомъ нѣсколько гальваническихъ баттарей составляютъ такую же необходи-

мую принадлежность обсерваторіи, какъ раздѣленные на градусы круги и дуги.

3. Телескопы.—Мы уже говорили о примѣненіи телескопа къ астрономическимъ наблюденіямъ, но еще не говорили объ усовершенствованіяхъ, сдѣланныхъ въ самомъ телескопѣ. Чѣмъ больше мы стараемся увеличить оптическую силу этого инструмента, тѣмъ больше намъ встрѣчается различныхъ препятствій и затрудненій: изображенія предметовъ бываютъ извращенными, неясными, слабо освѣщенными и окрашенными разными цвѣтами. Извращеніе и неясность происходятъ тогда, когда мы усиливаемъ увеличеніе телескопа, но не уменьшаемъ длину и отверстіе объектива. Если же мы уменьшимъ отверстіе объектива, тогда потеряемъ ясность освѣщенія. Поэтому хотѣли устранить эти недостатки тѣмъ, что увеличивали фокусное разстояніе объектива. Это увеличеніе фокуснаго разстоянія доходило до крайности въ телескопахъ, устроенныхъ въ началѣ прошлаго столѣтія. Гюйгенсъ давалъ своимъ первымъ объективамъ фокусное разстояніе въ 22 фута. Впослѣдствіи Кампани, по повелѣнію Людовика XIV, дѣлалъ ихъ въ 84, 100 и 136 футовъ. Затѣмъ Гюйгенсъ дѣлалъ телескопы съ объективомъ въ 210 футовъ. Озу и Гардсекеръ пошли, говорятъ, еще далѣе и устроивали объективы въ 600 фут. фокуснаго разстоянія. Но уже телескопы Кампани были очень неудобны для употребленія; а въ телескопѣ Гюйгенса объективъ помѣщался на столбѣ, и наблюдатель съ окуляромъ помѣщался въ фокусѣ этого объектива.

Самымъ серьезнымъ возраженіемъ противъ такого увеличенія отверстія, или фокуснаго разстоянія объектива, было то, что получаемыя посредствомъ его изображенія были окрашены, вслѣдствіе неодинаковой преломляемости различно окрашенныхъ лучей свѣта. Ньютонъ, открывшій причину этого недостатка въ увеличительныхъ стеклахъ, былъ увѣренъ, что этотъ недостатокъ непоправимъ даже тѣмъ, если будутъ употребляться сложные объективы, потому что и сложный объективъ не можетъ преломлять свѣта не окрашивая его, такъ же какъ и простой. Но Эйлеръ и Клингенштирна сомнѣвались въ вѣрности мнѣнія Ньютона, а Доллондъ въ 1755 г. опровергъ его опытомъ и открылъ способъ дѣлать объективныя стекла, которыя не даютъ окрашиванія и которыя поэтому называются ахроматическими. Для этой цѣли Доллондъ приготовлялъ объективы изъ двухъ чечевицъ различнаго стекла (изъ флинтгласа и кронгласа); Клеро и д'Аламберъ математически нашли формулы для формъ, какія слѣдуетъ давать этимъ чечевицамъ. Послѣ этого Доллондъ и потомъ его сынъ устроивали телескопы съ 3 футами фокуснаго разстоянія съ тройнымъ объективомъ; и эти телескопы имѣли такое же дѣйствіе, какъ телескопы прежняго устройства въ 45 футовъ. Съ перваго раза казалось, что эти открытія даютъ возможность астрономамъ увеличивать до безконечности силу зрѣнія; но вскорѣ оказалось, что самая существенная часть улучшенія въ новыхъ инструментахъ была вмѣстѣ съ тѣмъ и препятствіемъ къ увеличенію ихъ силы; потому что оптикамъ почти невозможно было приготовить очень большія стекла изъ

флинтгласа, которыя бы имѣли однородную массу. И этотъ отдѣлъ искусства долгое время оставался безъ движенія; но наконецъ, вслѣдствіе дальнѣйшихъ открытій, и въ немъ стало возможно дальнѣйшее движеніе. Въ настоящее столѣтіе Фраунгоферъ въ Мюнхенѣ, при помощи Гинана и при денежномъ содѣйствіи Уцшнейдера, успѣшно сталъ приготовлять стекла изъ флинтгласа въ размѣрахъ, неслыханныхъ дотолѣ. Съ тѣхъ поръ уже не считалось невозможнымъ приготовлять ахроматическіе объективы въ одинъ футъ въ поперечникѣ и съ 20 футовымъ фокуснымъ разстояніемъ, хотя художники при столь трудномъ предпріятіи не всегда могли разсчитывать на вѣрный успѣхъ.

(2-е изд.) [Іосифъ Фраунгоферъ, родившійся 6 марта 1787 г. въ Штраубингѣ въ Баваріи, былъ сынъ бѣднаго стекольщика. Съ ранняго возраста онъ занимался ремесломъ своего отца, такъ что не имѣлъ времени посѣщать школу и потому до 14 лѣтъ не умѣлъ ни писать, ни считать. Впослѣдствіи, при поддержкѣ Уцшнейдера, онъ старался быстро вознаградить потерянное имъ. Въ 1806 г. онъ сдѣлался оптикомъ въ механическо-оптическихъ мастерскихъ Уцшнейдера, перенесенныхъ въ 1819 г. въ Мюнхенъ. Здѣсь развился его талантъ, и онъ скоро сдѣлался первымъ оптикомъ Германіи. Его превосходные телескопы и микроскопы извѣстны по всей Европѣ. Самый большой телескопъ, устроенный имъ для обсерваторіи въ Дерптѣ, имѣетъ объективъ въ 9 дюймовъ діаметра и $13^1/_3$ футовъ фокуснаго разстоянія. Написанныя имъ статьи помѣщены въ Мемуарахъ Баварской академіи въ

Annalen der Physik Гильберта и въ Astronomischen Nachrichten Шумахера. Онъ умеръ 7 іюня 1826 г. Такіе телескопы сдѣлали бы многое для расширенія нашихъ познаній о небѣ, еслибы ихъ не превзошли такіе же, или даже еще большіе Рефлекторы (инструменты, у которыхъ вмѣсто двояко-выпуклыхъ объективовъ находится выпуклое зеркало). Рефлекторы были изобрѣтены Джемсомъ Грегори и введены въ употребленіе Ньютономъ. Но они не приносили особенной пользы до тѣхъ поръ, пока ими спеціально не занялся Гершель старшій. Его искусство и терпѣніе въ приготовленіи металлическихъ зеркалъ и въ устройствѣ для нихъ аппаратовъ вознаграждены были множествомъ любопытныхъ и поразительныхъ открытій, между которыми, какъ мы уже упоминали, было открытіе новой планеты, находящейся за Сатурномъ. Въ 1789 г. Гершель превзошелъ всѣ свои прежнія попытки, устроилъ Рефлекторъ въ 40 футовъ длины съ зеркаломъ, имѣвшимъ 4 фута въ діаметрѣ. Первый взглядъ на небо въ этотъ превосходный инструментъ открылъ Гершелю новаго спутника (6) Сатурна. Онъ и его сынъ съ рефлекторами въ 20 футовъ тщательно обозрѣли часть неба, видимую въ Англіи; послѣдній и впослѣдствіи продолжалъ этотъ обзоръ въ южномъ полушаріи неба.

Говоря объ улучшеніяхъ телескопа, мы должны замѣтить, что они производились и въ окулярахъ также какъ и въ объективахъ. Вмѣсто одной простой двояко-выпуклой линзы, какая употреблялась для окуляровъ прежде, Гюйгенсъ сталъ употреблять окуляръ изъ двухъ линзъ, который, хотя введенъ былъ для

другой цѣли, однако уничтожалъ также и окрашиваніе изображеній предметовъ *). Рамсденъ устроилъ окуляры такъ, чтобы ихъ можно было употреблять съ микрометромъ, а другіе давали имъ различныя еще болѣе сложныя устройства для разныхъ цѣлей.

§ 2. Обсерваторіи.

Астрономія, снабженная такимъ образомъ большими и прочно стоящими инструментами, нуждалась еще въ устройствѣ постоянныхъ Обсерваторій съ достаточными средствами для ихъ содержанія и для содержанія астрономовъ. Такія обсерваторіи существовали во всѣ періоды исторіи астрономіи; но въ разсматриваемый нами періодъ число ихъ увеличилось до такой степени, что мы здѣсь не въ состояніи перечислить всѣхъ ихъ. Мы должны смотрѣть на эти заведенія и на работы, производившіяся въ нихъ, какъ на существенную и важную часть исторіи прогресса астрономіи. Потому мы должны упомянуть здѣсь хотя о самыхъ лучшихъ обсерваторіяхъ новѣйшаго времени. Первыми такими обсерваторіями были обсерваторія Тихо де-Браге въ Уранибургѣ и обсерваторія ландграфа Гессенъ-Кассельскаго, гдѣ занимались Ротманъ и Биргіусъ. Впослѣдствіи времени самыя важныя наблюденія, послѣ наблюденій Тихо, которыя послужили основаніемъ для открытій Кеплера и Ньютона, были сдѣланы въ Парижѣ и Гринвичѣ. Обсерваторія въ Парижѣ была построена въ 1667 г. Въ ней первый Кассини сдѣлалъ

*) Coddington Optics, II, 21.

большую часть своихъ открытій; послѣ него въ ней же занимались трое другихъ Кассини и двое Маральди изъ той же фамиліи *), и кромѣ ихъ множество другихъ знаменитыхъ астрономовъ, каковы Пикаръ, Лагиръ, Лефевръ, Фуши, Лежантиль, Шаппъ, Мешень и Буваръ. Гринвичская обсерваторія была устроена нѣсколькими годами позже (1675); въ ней были сдѣланы наблюденія, послужившія основаніемъ для всѣхъ великихъ успѣховъ, какіе сдѣланы были съ тѣхъ поръ въ астрономіи. Этой обсерваторіей завѣдывали преемственно Флемстидъ, Галлей, Брадлей, Блиссъ, Маскелинъ и Пондъ; а послѣ отставки послѣдняго въ 1835 г. сюда же переведенъ былъ и Айри изъ Кембриджской обсерваторіи. Теперь въ каждомъ государствѣ и почти въ каждой провинціи Европы устроены обсерваторіи; но многія изъ нихъ или пришли въ бездѣйствіе, или мало содѣйствовали прогрессу астрономіи, оттого, что не публиковали своихъ наблюденій. По тѣмъ же причинамъ многочисленныя частныя обсерваторіи, находящіяся въ Европѣ, немногимъ увеличили наши познанія о небѣ, исключая тѣхъ обсерваторій, гдѣ вниманіе астрономовъ направлялось на одинъ опредѣленный пунктъ; къ послѣднему роду напр. относятся труды Гершелей и искусныя наблюденія, сдѣланныя Пондомъ посредствомъ вестбюрійскаго круга, который первый указалъ намъ на ошибки въ дѣленіяхъ Гринвичскаго квадранта. Въ настоящее время правильно публикуются наблюденія Гринвичской обсерваторіи со временъ Маскелина, Кенигсбергской—съ 1814

*) Montucla, IV, 346.

Бесселемъ, Вѣнской—съ 1820 г. Литтровомъ, Шпейерской — съ 1826 г. Швердомъ, Кембриджской—съ 1828 г. Айри и Армафской — съ 1829 г. Робинзономъ. Кромѣ того было напечатано еще много полезныхъ астрономическихъ наблюденій въ журналахъ, напр. наблюденія Цаха, сдѣланныя въ Зебергѣ близь Готы съ 1808 г. Другіе же наблюдатели занимались составленіемъ каталоговъ, о которыхъ мы скажемъ только нѣсколько словъ.

(2-е изд.) [Я оставилъ въ текстѣ перечень наблюденій, публикуемыхъ астрономами, такъ, какъ онъ былъ у меня первоначально составленъ; но въ настоящее время (1847), сколько мнѣ извѣстно, 12 обсерваторій публикуютъ свои наблюденія болѣе или менѣе правильно; именно обсерваторіи въ Гринвичѣ, Оксфордѣ, Кембриджѣ, Вѣнѣ, Берлинѣ, Дерптѣ, Мюнхенѣ, Женевѣ, Парижѣ, Кенигсбергѣ, Мадрасѣ, на мысѣ Доброй Надежды. Литтровъ въ своемъ переводѣ настоящаго сочиненія къ изданіямъ, публикующимъ астрономическія наблюденія, причисляетъ еще Monatliche Correspondenz Цаха, Zeitschrift für Astronomie Линденау и Боненбергера, Astronomisches Jahrbuch Боде и Astronomische Nachrichten Шумахера].

Устройство обсерваторій не ограничивается только Европою. Въ 1786 г. Бошанъ, на счетъ Людовика XVI, устроилъ обсерваторію въ Багдадѣ «для продолженія наблюденій Халдеевъ и Арабовъ», какъ гласитъ надпись; однако эти наблюденія продолжались не слишкомъ усердно и правильно. Въ 1828 г. англійское правительство докончило устройство обсерваторіи на мысѣ Доброй Надежды, гдѣ Лакаль еще прежде

устроилъ астрономическую станцію для своихъ наблюденій, въ 1750 г. Сэръ Томасъ Брисбанъ въ 1822 г. устроилъ обсерваторію въ Новой Голландіи и уступилъ ее правительству. Обѣ эти обсерваторіи дѣйствуютъ и до настоящаго времени. Остъ-Индская компанія также устроила обсерваторіи въ Мадрасѣ, Бомбаѣ и на островѣ Св. Елены; и наблюденія, сдѣланныя въ послѣднихъ двухъ мѣстахъ, были обнародованы.

Вліяніе этихъ обсерваторій на прогрессъ науки въ прежнее время уже видно изъ вышесказаннаго, а значеніе ихъ для настоящаго положенія науки будетъ указано въ нѣсколькихъ короткихъ замѣчаніяхъ въ концѣ этой главы.

§ 3. Ученыя общества.

Ученыя Общества или Академіи имѣли сильное вліяніе на прогрессъ астрономіи. Польза, принесенная этими ассоціаціями трудолюбивыхъ и способныхъ людей, во всѣхъ отдѣлахъ знанія была весьма значительна. Ясность и опредѣленность нашихъ идей и ихъ согласіе съ фактами, эти два условія всякой научной истины, могутъ быть строго, но зато благодѣтельно для науки испытываемы только при сношеніяхъ и столкновеніяхъ съ другими учеными людьми. Въ астрономіи болѣе, чѣмъ гдѣ-нибудь, громадность ея предмета и разнообразіе изслѣдованій требуютъ раздѣленія труда и взаимной помощи трудящихся. Академіи Наукъ въ Лондонѣ и Парижѣ были учреждены почти въ одно время съ основаніемъ обсерваторій въ обѣихъ этихъ столицахъ. И мы уже видѣли, какое блестящее

созвѣздіе математиковъ и другихъ ученыхъ существовало въ то время и какъ дѣятельны были ихъ изслѣдованія: а всѣ эти замѣчательные люди были членами этихъ двухъ Академій и печатали свои открытія въ ихъ изданіяхъ. По мѣрѣ того какъ прогрессъ естественныхъ наукъ, и въ особенности астрономіи, возбуждалъ большее и большее удивленіе, академіи основывались и въ другихъ странахъ. Въ 1710 г. основана была Академія въ Берлинѣ по мысли Лейбница, а въ 1725 г. Петромъ Великимъ рѣшено было основаніе Академіи въ Петербургѣ. Оба эти общества издавали съ тѣхъ поръ очень важные и цѣнные Мемуары. Въ новѣйшее время эти ученыя общества размножились до такой степени, что едвали можно перечислить ихъ. Они основывались или для извѣстной мѣстности, или для разработки одного извѣстнаго предмета; и при ихъ устройствѣ принимались въ соображеніе и настоящее положеніе науки и громадное число ея дѣятелей. Нѣтъ никакой возможности сообщить хотя краткій перечень громадной массы ученыхъ трактатовъ, которые заключаются въ изданіяхъ этихъ ученыхъ обществъ. Мы можемъ упомянуть только объ Астрономическомъ Обществѣ въ Лондонѣ, имѣющемъ специальное отношеніе къ нашему предмету, основанномъ въ 1820 г. и давшемъ сильный толчекъ изученію астрономіи въ Англіи.

§ 4. Покровители астрономіи.

Многіе сомнѣваются, чтобы литературѣ и наукѣ могло приносить пользу покровительство высокихъ и

знатныхъ лицъ; они думаютъ, что та любовь къ знанію, которая нуждается въ поощреніи такихъ покровителей, не совсѣмъ чиста, равно какъ не совсѣмъ свободны и безпристрастны могутъ быть сужденія тѣхъ, которые пользуются такимъ покровительствомъ. Какъ бы то ни было, но въ наукѣ, нуждающейся въ многочисленныхъ наблюденіяхъ и вычисленіяхъ, рѣшающей спорные вопросы только посредствомъ опытовъ, требующихъ дорогихъ инструментовъ,—въ наукѣ, воззрѣнія которой не связываются и не нарушаются личными и практическими принципами и интересами людей, нѣтъ ничего такого, что могло бы отравлять и дѣлать гибельными для науки тѣ пособія для изслѣдованія научныхъ предметовъ, которыя даются правительствомъ, богатыми и знатными лицами.

Астрономія во всѣ времена процвѣтала подъ покровительствомъ богатыхъ и знатныхъ лицъ. Это въ особенности можно сказать о періодѣ, которымъ мы теперь занимаемся. Людовикъ XIV своимъ покровительствомъ доставилъ астрономіи во Франціи такой почетъ, какого она не могла бы имѣть безъ него. Этому особенно содѣйствовало то, что онъ призвалъ въ Парижъ знаменитаго Доминика Кассини. Итальянскій астрономъ (онъ родился въ Пермальдо, въ графствѣ Ницца, и былъ профессоромъ въ Болоньѣ) пользовался уже блестящей репутаціей, когда французскій посланникъ отъ имени своего государя просилъ папу Климента IX и сенатъ въ Болоньѣ, чтобы они позволили ему переселиться въ Парижъ. Кассини получилъ это позволеніе только на 6 лѣтъ; но по истеченіи этого срока покровительство и почетъ, какіе оказывалъ

ему король, привязали его навсегда къ этому новому отечеству. Толчекъ, который дало астрономіи его прибытіе во Францію (въ 1669 г.), и его пребываніе въ ней доказали всю мудрость этой мѣры. Съ той же цѣлью французское правительство пригласило въ Парижъ Рёмера изъ Даніи, Гюйгенса изъ Голландіи и дало пенсію Гевеліусу и кромѣ того еще значительную сумму, когда сгорѣла его обсерваторія въ Данцигѣ въ 1679 г.

Государи Пруссіи и Россіи, покровительствуя наукамъ въ своихъ государствахъ, слѣдовали тому же пути, которымъ такъ успѣшно шла Франція. Петръ Великій пригласилъ въ Петербургъ астронома Делиля въ 1725 г.; Фридрихъ Великій призвалъ въ Берлинъ Вольтера и Мопертюи, Эйлера и Лагранжа; а впослѣдствіи императрица Екатерина II призвала въ петербургскую академію Бернулли и другихъ математиковъ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ «благородное растеніе» тотчасъ же приносило свои плоды, какъ это показываютъ труды въ Парижѣ Кассини и его родственниковъ—Маральди.

(2 изд.) [Какъ на примѣръ подобнаго же покровительства, оказываемаго астрономіи, мы можемъ указать на премію, назначенную датскимъ королемъ за открытіе кометы].

Намъ нѣтъ надобности упоминать здѣсь о другихъ новѣйшихъ и извѣстныхъ примѣрахъ покровительства, какое оказывали астрономамъ государи и государственные люди.

§ 5. Астрономическія экспедиціи.

Кромѣ большихъ суммъ, употребленныхъ такимъ образомъ на покровительство астрономіи, астрономамъ и математикамъ, нѣкоторыя правительства давали еще большія средства на снаряженіе экспедицій и астрономическихъ путешествій въ отдаленныя страны для какихъ-нибудь особенныхъ цѣлей. Такимъ образомъ Пикаръ въ 1671 г. посланъ былъ въ Уранибургъ, мѣсто наблюденій Тихо, для того чтобы опредѣлить его широту и долготу. Онъ нашелъ, что «небесный городъ» совершенно изчезъ съ лица земли, такъ что съ трудомъ можно было отыскать даже основаніе его стѣнъ. Съ той же цѣлью Шазелль посланъ былъ въ 1693 г. въ Александрію, чтобы тщательно опредѣлить положеніе мѣстъ, которыя въ различныя времена служили такъ сказать столицами для астрономіи. Мы уже упоминали объ астрономической экспедиціи Рише въ Кайену въ 1672 г. Черезъ нѣсколько лѣтъ въ ту же самую страну и для такихъ же цѣлей посланы были Варенъ и Дезейе. Въ 1677 г. экспедиція Галлея на островъ Св. Елены для наблюденія надъ звѣздами снаряжена была имъ на собственный счетъ. Но впослѣдствіи въ 1698 г. король Вильгельмъ III отдалъ ему въ распоряженіе небольшой корабль, для того, чтобы онъ могъ дѣлать магнитныя наблюденія во всѣхъ частяхъ свѣта. Французское правительство 4 года содержало Лакаля на Мысѣ Доброй Надежды (1750—1754), гдѣ онъ занимался наблюденіями надъ звѣздами южнаго небеснаго полушарія. Два случая прохожденія Венеры передъ солнцемъ въ 1761 и 1769 г.

были поводомъ къ экспедиціямъ, посланнымъ Россіею въ Камчатку и Тобольскъ, Франціею въ Иль-де-Франсъ и Короманделъ, Англіею на острова Св. Елены и Отаити, Швеціею и Даніею—въ Лапландію и Дронтгеймъ. Я не буду здѣсь говорить объ измѣреніяхъ градусовъ, произведенныхъ различными націями, и о другихъ безчисленныхъ наблюденіяхъ, сдѣланныхъ на сушѣ и на морѣ; но я долженъ сказать объ англійскихъ экспедиціяхъ капитановъ Базиль Галя, Сабина и Фостера, имѣвшихъ цѣлью опредѣленіе длины секунднаго маятника въ разныхъ широтахъ; объ экспедиціяхъ Біо и другихъ, снаряженныхъ для той же цѣли французскимъ правительствомъ. Многое было сдѣлано до сихъ поръ этимъ путемъ; но не больше того, сколько требуетъ прогрессъ астрономіи, и только малая часть того, чтó нужно для совершеннаго изученія ея предметовъ.

§ 6. Настоящее состояніе астрономіи.

Астрономія въ настоящемъ ея положеніи не только значительно опередила другія науки, но и находится въ болѣе благопріятныхъ условіяхъ для ея будущаго развитія, чѣмъ другія науки. Мы впослѣдствіи разсмотримъ общіе методы и условія, посредствомъ которыхъ и другія науки могутъ достигнуть такого положенія; теперь же мы укажемъ на нѣкоторыя обстоятельства, содѣйствовавшія такому цвѣтущему состоянію астрономіи въ настоящее время.

Астрономія разработывается своими приверженцами съ такимъ усердіемъ и самоотверженіемъ, съ такими

щедрыми пособіями отъ частныхъ лицъ и обществъ, какихъ мы не видимъ въ другихъ наукахъ. Методъ ея разработки въ общественныхъ и въ большей части частныхъ обсерваторій имѣетъ свой особенный характеръ; онъ состоитъ въ одно и тоже время въ постоянной повѣркѣ уже сдѣланныхъ открытій и въ усердномъ исканіи новыхъ явленій или новыхъ законовъ. Сдѣланныя наблюденія свѣряются съ лучшими таблицами и сравниваются съ лучшими извѣстными теоретическими формулами и если въ результатѣ этого сличенія и повѣрки окажется разногласіе, то это и занимаетъ и безпокоитъ астронома и онъ напрягаетъ всѣ усилія, чтобы это уклоненіе отъ предуказанныхъ по теоріи явленій подвести подъ законъ или узнать его причину, и не успокоивается до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ этого. Сравненіе наблюденій надъ положеніями звѣздъ съ таблицами требуетъ большаго труда и большихъ вычисленій. Точное обозначеніе мѣста звѣздъ въ извѣстное опредѣленное время указывается въ Каталогахъ звѣздъ; ихъ движенія по открытымъ до сихъ поръ законамъ обозначаются въ Таблицахъ; а если эти таблицы предуказываютъ движеніе на каждый день, то они называются Эфемеридами. Каталоги неподвижныхъ звѣздъ Флемстида, Піацци, Маскелина, Астрономическаго Общества служатъ основаніемъ для всѣхъ астрономическихъ наблюденій. Къ этимъ таблицамъ примѣнены поправки, при которыхъ принята въ соображеніе Рефракція. Эти поправки сдѣланы Брадлеемъ и Бесселемъ. Другіе же новѣйшіе астрономы составили такія же поправки, принимая во вниманіе Аберрацію, Нутацію и Предвареніе.

Наблюденія, такимъ образомъ исправленныя, даютъ астроному возможность точно провѣрять исправность и вѣрность его мѣръ для времени и пространства, его часовъ и инструментовъ для измѣренія угловъ. Различныя звѣзды, такимъ образомъ наблюдаемыя, могутъ быть сравниваемы одна съ другой и астрономъ можетъ исправлять далѣе свои основные Элементы, свой Каталогъ, или Таблицы Поправокъ. Эти таблицы, хотя и составлены на основаніи законовъ, подтвержденныхъ прежними открытіями, однако точныя величины или такъ-называемыя константы или коэффиціенты ихъ формулъ могутъ быть вѣрно опредѣлены только посредствомъ многочисленныхъ наблюденій и сличеній. Работы подобнаго рода до сихъ поръ занимаютъ астрономовъ, и долго еще будутъ занимать; и относительно многихъ пунктовъ между ними существуетъ несогласіе. Но само это несогласіе служитъ очевиднѣйшимъ доказательствомъ той точности, къ какой стремятся астрономы. Напр. Линденау полагаетъ коэффиціентъ Нутаціи меньше чѣмъ въ 9 секундъ; другіе астрономы не соглашаются съ нимъ и полагаютъ этотъ коэффиціентъ около 9³/₁₀ секундъ. Среди подобныхъ споровъ и несогласій возникаютъ иногда вопросы, не нужны ли еще другія какія-нибудь поправки, которыхъ требуютъ законы, еще до сихъ поръ не открытые и не извѣстные. Самымъ замѣчательнымъ изъ такихъ вопросовъ служитъ споръ о существованіи годичнаго Параллакса неподвижныхъ звѣздъ, который принимаетъ Бринклей и отвергаетъ Пондъ. Подобный споръ между двумя лучшими наблюдателями показываетъ, что количества, по поводу которыхъ онъ ве-

дется, до такой степени малы, что они равняются незамѣтнымъ и неизбѣжнымъ ошибкамъ въ нашихъ инструментахъ и вычисленіяхъ.

)‡ (2-е изд.) [Мнѣніе, что параллаксъ неподвижныхъ звѣздъ можетъ быть опредѣленъ, повидимому начинаетъ укрѣпляться между астрономами. По опредѣленію Бесселя параллаксъ 61 звѣзды Лебедя составляетъ 0".34, т. е. около 1/3 секунды или 1/10,000 градуса. По опредѣленію Маклира звѣзда α Центавра составляетъ 0".9 или 1/4,000 градуса.]

Но кромѣ неподвижныхъ звѣздъ и поправокъ къ нимъ, движеніе планетъ представляетъ для астронома обширное поле дѣятельности. Установившаяся теорія планетъ дала намъ таблицы ихъ, въ которыхъ вычислено ихъ ежедневное положеніе на небѣ, которое и указывается, обыкновенно, въ эфемеридахъ, какъ напр. въ «Berliner Jahrbuch» Энке, въ «Nautical Almanac», издаваемомъ въ Гринвичѣ англійскимъ правительствомъ, въ «Connaissance des temps», издаваемомъ въ Парижѣ, и въ «Effemeridi di Milano». Сравненіе наблюдаемаго положенія планетъ съ положеніемъ, указаннымъ въ таблицахъ, даетъ намъ возможность исправлять каэффиціенты таблицъ и такимъ образомъ достигать большей точности въ константахъ для солнечной системы. Но эти константы зависятъ не только отъ эллиптическихъ элементовъ планетныхъ орбитъ, но также (такъ какъ здѣсь нужно принимать во вниманіе и возмущенія, производимыя планетами другъ на друга) и отъ массы и формы тѣлъ, составляющихъ нашу систему. Потому и въ этомъ отдѣлѣ науки, какъ и въ сидеральной астрономіи, могутъ быть сравниваемы различныя опредѣленія

или результаты, получаемые различными путями, могутъ возникать и могутъ разрѣшаться разнаго рода сомнѣнія. Такимъ образомъ напр. возмущенія, производимыя Юпитеромъ въ движеніяхъ различныхъ другихъ планетъ, подали поводъ къ сомнѣнію, дѣйствительно ли его притяженіе пропорціонально его массѣ, какъ утверждаетъ законъ всеобщаго тяготѣнія. Это сомнѣніе было разрѣшено Николаи и Энке въ Германіи и Айри въ Англіи. Найдено было, что прежнее опредѣленіе массы Юпитера, основанное на авторитетѣ Лапласа, было не вѣрно и что тѣ возмущенія, какія Юпитеръ производитъ въ движеніяхъ Весты, Юноны, кометы Энке, и его самаго отдаленнаго спутника, вполнѣ согласуются съ массой его вѣрно опредѣленной. Подобнымъ же образомъ Буркгартъ, Литтровъ и Айри исправляли элементы Солнечныхъ Таблицъ. Въ другихъ случаяхъ астрономы находятъ, что посредствомъ измѣненія коэффиціентовъ нельзя привести таблицъ въ согласіе съ наблюденіями; значитъ необходимъ какой-нибудь новый терминъ въ формулѣ. Иногда, если есть возможность, находится законъ этого неизвѣстнаго дѣятеля, иногда же уклоненіе наблюденій отъ таблицъ объясняется какой-нибудь уже извѣстной причиной. Такъ Айри, занимаясь изслѣдованіями надъ солнечными таблицами, нашелъ, что необходимо было уменьшить принимавшуюся доселѣ массу Марса, но вслѣдствіе замѣченныхъ несогласій таблицъ съ наблюденіями, пришелъ къ догадкѣ, что должно существовать какое-нибудь новое неизвѣстное еще неравенство или возмущеніе. Такое неравенство и было наконецъ найдено теоретическимъ путемъ и происходитъ отъ при-

тяженія Венеры. Энке, занимаясь изслѣдованіями надъ своей кометой, нашелъ постоянное уменьшеніе періода времени обращенія ея вокругъ солнца и изъ этого заключилъ, что въ міровомъ пространствѣ должна существовать сопротивляющаяся среда, или эѳиръ. Уранъ все-еще значительно уклоняется отъ положенія, указываемаго для него таблицами, и причина этого уклоненія до сихъ поръ еще не найдена. (См. приложеніе въ концѣ этого параграфа.)

Такимъ образомъ почти невозможно, чтобы какое-нибудь мнѣніе о небесныхъ явленіяхъ, несогласное съ настоящимъ состояніемъ астрономіи, могло долго удержаться въ наукѣ. Ошибочныя мнѣнія могутъ долго держаться только тамъ, гдѣ наука состоитъ изъ дидактическихъ доктринъ, выработанныхъ чисто теоретически и неповѣряемыхъ на каждомъ шагу свидѣтельствомъ опыта. Въ астрономіи же напротивъ каждая ошибка тотчасъ же дѣлается замѣтной въ таблицахъ, въ эфемеридахъ, въ запискахъ ночныхъ наблюденій и въ вычисленіяхъ, она замѣчается въ тысячахъ обсерваторій и изслѣдуется до тѣхъ поръ, пока не будетъ разъяснена, и затѣмъ или становится истиной или исчезаетъ навсегда.

Въ этой, находящейся въ особенно благопріятномъ положеніи, наукѣ самое малѣйшее и незначительное открытіе подвергается сомнѣнію и возраженіямъ только тогда, когда природа представляетъ намъ противъ него очевиднѣйшія и осязательнѣйшія чувственныя явленія. Послѣднее великое открытіе въ астрономіи, движеніе звѣздъ, происходящее отъ аберраціи, такъ же очевидно и несомнѣнно для многочисленныхъ астроно-

мовъ-наблюдателей въ разныхъ частяхъ свѣта, какъ простому ночному путнику очевидно ежедневное движеніе звѣздъ вокругъ полюса. И эта безопасность отъ какихъ-нибудь значительныхъ ошибокъ въ положеніяхъ, принятыхъ наукой, есть неприступная крѣпость, въ которой астрономъ не можетъ подвергаться никакимъ нападеніямъ и можетъ свободно и безопасно подвигаться далѣе и далѣе въ невѣдомую доселѣ страну.

Такая же тщательность и аккуратность обнаруживается въ собираніи и въ приведеніи въ порядокъ всего, что получено наблюденіемъ, особенно въ тѣхъ отдѣлахъ астрономіи, гдѣ еще нѣтъ общихъ принциповъ, которые служили бы связью для пріобрѣтенныхъ нами познаній. Эти собранія могутъ считаться матеріалами для Описательной Астрономіи; таковы напр. Каталоги Звѣздъ, Карты Неба, Карты Луны, представляющія солнце и планеты такъ, какъ онѣ кажутся въ самые сильные телескопы, рисунки Туманныхъ Пятенъ, Кометъ и пр. Также точно кромѣ Каталога Фундаментальныхъ Звѣздъ, которыя могутъ считаться точками исхода и отправленія для всѣхъ наблюденій надъ солнцемъ, луною и планетами, существуютъ еще каталоги безчисленныхъ малыхъ звѣздъ. «Historia celestis» Флемстида, лучшій каталогъ въ свое время, содержитъ около 3,000 звѣздъ. А французская «Histoire Céleste», явившаяся въ 1801 г., содержитъ въ себѣ 50,000 звѣздъ. Недавно стали публиковаться каталоги или карты отдѣльныхъ частей неба; и въ 1825 г. Берлинская Академія предлагала астрономамъ Европы взяться за это дѣло, раздѣливъ по частямъ звѣздное небо.

(2-е изд.) [До Флемстида лучшимъ Каталогомъ

звѣздъ былъ каталогъ Тихо де-Браге, указывавшій положенія около 1,000 звѣздъ, опредѣленныя весьма грубо простымъ глазомъ. По поводу проекта опредѣленія долготъ, представленнаго Карлу II въ 1674 г., Флемстидъ утверждалъ, что этотъ методъ совершенно безполезенъ, потому между прочимъ, что въ каталогѣ Тихо де-Браге не вѣрно указано положеніе звѣздъ. Когда это дошло до свѣдѣнія Карла, онъ былъ пораженъ утвержденіемъ Флемстида о невѣрности опредѣленія звѣздъ въ каталогѣ, и сказалъ съ нѣкоторой досадой: «онъ долженъ самъ вновь разсмотрѣть, изслѣдовать и повѣрить ихъ для пользы своихъ моряковъ». Этотъ случай послужилъ поводомъ къ основанію Гринвичской обсерваторіи, наблюдателемъ которой сдѣланъ былъ Флемстидъ. Его «Historia Celestis» содержитъ около 3,000 звѣздъ, опредѣленныхъ телескопомъ. Она была недавно напечатана вновь съ важными улучшеніями Бейли (см. Бейли «Flamsteed», p. 38).

Французская «Histoire Céleste» была издана въ 1801 г. Лаландомъ и заключала въ себѣ 50,000 звѣздъ такъ, какъ онъ ихъ наблюдалъ самъ и другіе французскіе астрономы. Сличеніе содержащихся въ этомъ каталогѣ наблюденій и приведеніе ихъ къ среднимъ положеніямъ въ началѣ 1800 г. могутъ быть сдѣланы при пособіи таблицъ, напечатанныхъ для этой цѣли Шумахеромъ въ 1825 г.

Въ 1807 г. былъ напечатанъ каталогъ Піацци съ 6,748 звѣздъ, составленный на основаніи каталога Маскелина съ 1,700 звѣздъ; въ 1814 г. онъ былъ

увеличенъ до 7,646 звѣздъ. Это есть самый обширный трудъ изъ всѣхъ трудовъ въ новѣйшей астрономіи; наблюденія, заключающіяся въ немъ, сдѣланы точно, поправлены по таблицамъ аберраціи, нутаціи и пр. и сравнены съ наблюденіями прочихъ астрономовъ. Каталогъ Піацци служитъ точкой отправленія и самымъ точнымъ каталогомъ для малыхъ звѣздъ подобно тому, какъ «Histoire Céleste» служитъ для нихъ приблизительнымъ каталогомъ. Новыя планеты были открыты большей частью посредствомъ сличенія неба съ каталогомъ Боде (Берлинъ).

Я долженъ упомянуть здѣсь еще о другихъ каталогахъ звѣздъ, напечатанныхъ въ послѣднее время. Каталогъ Понда содержитъ 1,112 звѣздъ сѣвернаго полушарія; Джонсона—606; Роттесли—1,318 (только въ прямомъ восхожденія); Первый Кембриджскій Каталогъ Айри— 726, его же Гринвичскій Каталогъ—1,439; Пирсона—520 зодіакальныхъ звѣздъ; Грумбриджа—4,243 околополярныхъ звѣздъ, на 50° отъ сѣвернаго полюса; Сантини—звѣзды пояса 18° къ сѣверу отъ экватора. Кромѣ того Тайлоръ публиковалъ, по приказанію мадрасскаго правительства, 11,000 звѣздъ, которыя онъ наблюдалъ въ Мадрасѣ; а Ромкеръ, занимавшійся наблюденіями на обсерваторіи, устроенной сэромъ Томасомъ Брисбаномъ въ Параматтѣ въ Австраліи, началъ каталогъ, содержащій 12,000 звѣздъ. Бейли публиковалъ каталоги двухъ мѣстъ наблюденія—Королевскаго Астрономическаго Общества, содержащій 2,881, и Британской Ассоціаціи, содержащій 8,377 звѣздъ. Я не упоминаю здѣсь о другихъ каталогахъ,

напр. о каталогѣ Аргеландера и пр., и о каталогахъ звѣздъ южнаго полушарія.

Берлинскія Карты напечатаны только для 14 часовъ Прямаго Восхожденія; о достоинствѣ ихъ можно судить по тому, что главнымъ образомъ посредствомъ сличенія звѣзднаго неба съ этими картами была открыта новая планета Астрея. Слѣдуетъ еще упомянуть здѣсь о наблюденіяхъ, сдѣланныхъ въ Кенигсбергѣ знаменитымъ астрономомъ Бесселемъ и обнимающихъ большое число звѣздъ.

Самый обыкновенный способъ обозначенія Звѣздъ основанъ на древнихъ созвѣздіяхъ, какъ они были обозначены еще Птолемеемъ. Байеръ изъ Аугсбурга въ своей «Uranometria» принялъ методъ обозначать большія звѣзды въ каждомъ созвѣздіи греческими буквами α, β, γ, и пр., употребляя ихъ по порядку и по уменьшающейся величинѣ звѣздъ; и когда греческій алфавитъ кончится, тогда слѣдуетъ обозначеніе латинскими буквами. Флемстидъ обозначалъ звѣзды цифрами; но такъ какъ число наблюдавшихся звѣздъ значительно увеличилось, то стали употребляться различные способы для обозначенія ихъ; и вслѣдствіе этого произошла сбивчивость и путаница въ обозначеніи созвѣздій и отдѣльныхъ звѣздъ въ нихъ, чтò породило справедливыя жалобы и вызвало попытки исправить этотъ недостатокъ. Аргеландеръ въ своей «Neue Uranometrie» расположилъ звѣзды по порядку ихъ величины, какъ онѣ кажутся невооруженному глазу.

Между изображеніями луны я могу указать на «Selenographia» Гевеліуса и на недавно напечатанную Карту Луны Беера и Медлера.]

Я уже сказалъ нѣсколько словъ о наблюденіяхъ двухъ Гершелей надъ Двойными Звѣздами, приведшихъ къ открытію закона обращенія этихъ системъ. Кромѣ того, эти знаменитые астрономы собрали громадное сокровище наблюденій надъ Туманными Пятнами,—матеріалъ, который можетъ быть поведетъ впослѣдствіи къ новымъ обобщеніямъ и воззрѣніямъ на исторію вселенной.

(2-е изд.). [Въ нѣкоторыхъ прежнихъ астрономическихъ трудахъ можно найти не многія измѣренія Двойныхъ Звѣздъ. Но собственно возникновеніе этой науки о двойныхъ звѣздахъ относится къ началу настоящаго столѣтія, когда сэръ Вильямъ Гершель (въ 1802 г.) напечаталъ въ «Phil. Trans.» Каталогъ 50 новыхъ Туманныхъ Пятенъ различныхъ классовъ, а въ «Phil. Trans.» 1803 г. мемуаръ «Объ измѣненіяхъ въ относительномъ положеніи двойныхъ звѣздъ въ теченіе 25 лѣтъ». Въ послѣдующихъ мемуарахъ онъ продолжалъ разработывать тотъ же предметъ. Въ одномъ изъ нихъ, въ 1814 г., онъ указалъ на нѣкоторые разрывы въ различныхъ мѣстахъ Млечнаго Пути, повидимому происшедшіе вслѣдствіе какого-нибудь дѣйствія Притяженія. Въ этомъ же мемуарѣ и въ другомъ, 1817 г., онъ обнародовалъ свои замѣчательныя воззрѣнія на распредѣленіе звѣздъ въ той громадной группѣ, къ которой принадлежитъ наша система и которая образуетъ широкій концентрическій слой, и не менѣе замѣчательное воззрѣніе на связь между звѣздами и туманными пятнами,—гдѣ онъ показалъ, что звѣзды иногда повидимому сопровождаются туманами, окружающими ихъ; иногда какъ будто поглощаютъ часть

туманныхъ пятенъ, а иногда какъ будто сами образуются изъ тумана этихъ пятенъ. Эти воззрѣнія были встрѣчены и приняты нѣкоторыми какъ Теорія Туманныхъ Пятенъ. Въ своемъ послѣднемъ мемуарѣ, сообщенномъ Астрономическому Обществу въ 1822 г., сэръ Вильямъ Гершель представилъ свой каталогъ 145 новыхъ двойныхъ звѣздъ. Въ 1827 г. Струве въ Дерптѣ напечаталъ свой «Catalogus novus», заключавшій въ себѣ 3,112 двойныхъ звѣздъ. Дѣло двойныхъ звѣздъ такимъ образомъ быстро подвигалось впередъ: сэръ Джонъ Гершель и сэръ Джемсъ Соутъ напечатали въ «Phil. Trans.» 1824 г. точныя измѣренія 380 двойныхъ и тройныхъ звѣздъ, къ которымъ Соутъ впослѣдствіи прибавилъ еще 458. Донлопъ напечаталъ измѣреніе 253 двойныхъ звѣздъ южнаго полушарія. Кромѣ того подобныя же наблюденія напечатаны были капитаномъ Смитомъ, Девсомъ и другими. Въ великомъ произведеніи Струве «Mensurae Micrometricae» и проч., заключается 3,134 двойныхъ звѣздъ, въ числѣ которыхъ находятся и двойныя звѣзды Вильяма Гершеля. Джонъ Гершель въ 1826—1828 гг. представилъ Астрономическому Обществу около 1,000 измѣреній двойныхъ звѣздъ, а въ 1830—точныя измѣренія 1,236 двойныхъ звѣздъ, сдѣланныя его 20-футовымъ рефлекторомъ. Его мемуаръ, помѣщенный въ V томѣ записокъ Астрономическаго Общества, кромѣ измѣреній 364 двойныхъ звѣздъ, представляетъ всѣ поразительные результаты относительно движенія двойныхъ звѣздъ, какіе были получены имъ до того времени. Въ 1835 г. съ своимъ 20-футовымъ рефлекторомъ онъ отправился на Мысъ Доброй Надежды для того, чтобы дополнить об-

зоръ двойныхъ звѣздъ и туманныхъ пятенъ въ южномъ полушаріи посредствомъ того же инструмента, которымъ онъ изслѣдовалъ небо сѣвернаго полушарія. Онъ возвратился съ Мыса Доброй Надежды въ 1838 г., и теперь (1846) готовитъ къ печати результаты своихъ трудовъ. Кромѣ звѣздъ уже упомянутыхъ, въ его произведеніи будетъ заключаться отъ 1,500 до 2,000 новыхъ звѣздъ, такъ что все число двойныхъ звѣздъ составитъ около 8,000. Это произведеніе представитъ множество предметовъ, хотя можетъ быть и не имѣющихъ значительно большаго научнаго интереса, однако такихъ, которые содержатъ въ себѣ матеріалы для важнѣйшихъ открытій, которыя предстоитъ сдѣлать астрономамъ. Поэтому-то астрономы съ жаднымъ любопытствомъ ждутъ сочиненія сэра Джона Гершеля о двойныхъ звѣздахъ и туманныхъ пятнахъ.

О наблюденіяхъ надъ туманными пятнами мы можемъ сказать тоже самое, что уже сказано нами о наблюденіяхъ надъ двойными звѣздами, именно, что они заключаютъ въ себѣ матеріалъ для будущихъ важныхъ открытій. Эти явленія сами собой связываются съ теоріей Лапласа о первобытной туманной матеріи, изъ которой произошли, вслѣдствіе постепеннаго сгущенія и отдѣленія, всѣ вращающіяся небесныя тѣла, подобныя нашей солнечной системѣ. Однако въ туманныхъ пятнахъ не было наблюдаемо до сихъ поръ никакихъ измѣненій, которыя бы могли служить подтвержденіемъ этой гипотезы; и даже самый сильный телескопъ въ мірѣ, устроенный графомъ Россомъ, далъ результаты, которые даже нѣсколько противорѣчатъ этой гипотезѣ, не говоря уже о томъ, что то, что

прежде казалось разрѣженной туманной массой, при болѣе сильномъ увеличеніи зрѣнія посредствомъ телескопа, оказалось во всѣхъ, изслѣдованныхъ до сихъ поръ, случаяхъ собраніемъ отдѣльныхъ звѣздъ.

Астрономическія явленія, разсматриваемыя съ точки зрѣнія гипотезы первобытнаго тумана, относятся собственно не къ астрономіи, какъ она понимается въ настоящее время, но къ Космогоніи. Если подобныя теоретическія спекуляціи пріобрѣтутъ какое-нибудь научное значеніе, то мы отнесемъ ихъ въ область тѣхъ наукъ, которыя я назвалъ Палетіологическими, т. е. къ тѣмъ наукамъ, которыя разсматриваютъ всю вселенную, землю и ея жителей въ ихъ историческихъ измѣненіяхъ и изслѣдуютъ причины этихъ измѣненій.]

(3-е изд.). *Открытіе Нептуна.*—Теоріи тяготѣнія суждено было получить подтвержденіе еще болѣе поразительное, чѣмъ какое могли дать ей самыя удовлетворительныя объясненія ею движеній извѣстныхъ планетъ. Именно, теорія предуказала существованіе неизвѣстной планеты, которую астрономы предположили, не видя ея, но только замѣчая то притяженіе, какое обнаруживаетъ она на планету уже извѣстную. Исторія открытія Нептуна посредствомъ вычисленій Адамса и Леверрье была отчасти уже изложена въ прежнемъ изданіи этого сочиненія. Тамъ я говорилъ, что несогласіе между наблюденіемъ и теоріей обнаруживается на самой крайней границѣ солнечной системы и что существованіе этого несогласія не подлежитъ сомнѣнію. Движеніе Урана не согласуется съ таблицами, вы-

численными для него на основаніи теоріи тяготѣнія. Въ 1821 г. Буваръ въ предисловіи къ таблицамъ этой планеты говоритъ слѣдующее: «составленіе этихъ таблицъ ставитъ насъ въ затрудненіе такого рода, что мы можемъ согласоваться съ новѣйшими наблюденіями до требуемой степени точности только тогда, когда наши таблицы будутъ во многомъ расходиться съ прежними наблюденіями». Но въ такомъ случаѣ возникаетъ опять несогласіе между такими таблицами и еще болѣе новыми наблюденіями; и это несогласіе постоянно возрастаетъ. Въ настоящее время планета дѣйствительно проходитъ почти на 8 секундъ раньше противъ того, какъ это показано въ таблицахъ. Это несогласіе обратило мысли астрономовъ къ предположенію планеты дальше Урана, вліяніемъ которой можно бы было объяснить это несогласіе. Казалось, что замѣчаемыя движенія планеты могутъ быть удовлетворительно объяснены, если предположить планету на разстояніи въ двое большемъ разстоянія Урана отъ солнца и представить себѣ, что эта неизвѣстная планета производитъ возмущенія въ движеніи Урана. На основаніи такого предположенія найдено было, что тогдашняя долгота этого возмущающаго тѣла должна быть около 325 градусовъ.

Я прибавилъ къ этому, что «Леверрье («Comptes Rendus», Juin 1, 1846) и, какъ увѣдомилъ меня королевскій астрономъ Адамсъ, въ Кембриджѣ, оба независимо другъ отъ друга пришли къ этому результату.»

Такъ я говорилъ во 2-мъ изданіи этого сочиненія; и къ сказанному прибавилъ тогда приписку, отъ 7 ноября 1846 г., такого содержанія:

«Планета, находящаяся дальше Сатурна, существованіе которой Леверрье и Адамсъ предполагали на основаніи движеній Урана, теперь уже открыта. Такое подтвержденіе вычисленій, основанныхъ на ученіи о всеобщемъ тяготѣніи, можетъ считаться самымъ замѣчательнымъ событіемъ послѣ предсказаннаго теоретически возвращенія Галлеевой кометы въ 1757 г. Въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ, сдѣланное теоретически открытіе Нептуна еще болѣе поразительно, чѣмъ это предсказаніе; такъ какъ новая планета никогда не была видима прежде и была открыта математиками только по ея возмущающему вліянію, которое они увидѣли чрезъ органъ математическаго вычисленія.

«Нѣтъ никакого сомнѣнія, что Леверрье принадлежитъ та честь, что онъ первый публиковалъ предсказаніе мѣста и появленія новой планеты и такимъ образомъ далъ поводъ къ открытію ея астрономами наблюдателями. Первое предсказаніе Леверрье было напечатано въ «Comptes Rendus de l'Academie des Sciences» Juin 1, 1846. Слѣдующая записка о томъ же предметѣ была читана августа 31. Планета была замѣчена Галле съ Берлинской обсерваторіи сентября 23; и въ этотъ день получено было имъ сообщеніе отъ Леверрье, который совѣтовалъ ему стараться распознать незнакомца по тому признаку, что онъ имѣетъ замѣтный дискъ. Профессоръ Чаллисъ на Кембриджской обсерваторіи выжидалъ новую планету съ 29 іюля, видѣлъ ее 4 августа и потомъ 12 августа, но не узналъ ее вслѣдствіе своего плана не сличать своихъ наблюденій до тѣхъ поръ, пока не соберется ихъ большое число. 29 сентября, прочитавши въ первый разъ

вторую записку Леверрье, онъ измѣнилъ свой планъ и обратилъ вниманіе на физическое появленіе планеты прежде опредѣленія ея положенія. Въ тотъ же вечеръ, еще ничего не зная объ открытіи Галле, онъ замѣтилъ планету, потому что она имѣла примѣтный дискъ.

«Способъ, какимъ Леверрье изслѣдовалъ обстоятельства движенія Урана и заключилъ изъ нихъ о существованіи новой планеты, въ высшей степени остроуменъ и мастерски приложенъ къ дѣлу. Отдавая полную справедливость Леверрье, мы по той же справедливости должны упомянуть здѣсь объ одновременныхъ, хотя и не публикованныхъ работахъ Адамса въ Кембриджской Коллегіи. Адамсъ сдѣлалъ свои первыя вычисленія для объясненія аномалій въ движеніи Урана, основанныя на предположеніи новой болѣе отдаленной планеты, еще въ 1843 г. Но онъ сначала не принималъ въ соображеніе прежнихъ гринвичскихъ наблюденій, которыя были сообщены ему королевскимъ астрономомъ только въ 1844 г. Въ сентябрѣ 1845 г. Адамсъ сообщилъ профессору Чаллису величины элементовъ предполагаемой планеты, возмущающей движеніе Урана; именно ея среднее разстояніе, среднюю долготу въ данное время, долготу перигелія, эксцентрицитетъ орбиты и массу. Въ слѣдующій мѣсяцъ онъ сообщилъ и королевскому астроному величины тѣхъ же элементовъ, но только нѣсколько поправленныя. То мѣсто (во 2-мъ изд.) настоящаго сочиненія, въ которомъ имена Леверрье и Адамса поставлены были мною рядомъ, было уже напечатано въ августѣ 1846 г. за мѣсяцъ до того, какъ была за-

мѣчена новая планета. Адамсъ и Леверрье, оба указывали почти одинаковое положеніе для этой невидимой планеты. Они же оба приписывали ей почти одинаковую массу, именно $2^1/_2$ массы Урана. Поэтому, предполагая, что плотность ея не больше плотности Урана, можно было заключить, что видимый діаметръ ея составляетъ не больше какъ около 3 секундъ, а кажущаяся величина немногимъ меньше величины самого Урана.

«Леверрье далъ новой планетѣ имя Нептуна; и вѣроятно изъ уваженія къ нему, какъ къ открывателю планеты, это названіе было принято всѣми.»

Айри представилъ полную исторію обстоятельствъ, относящихся до открытія Нептуна, въ мемуарахъ Астрономическаго Общества (ноябрь 13, 1846). Здѣсь онъ показываетъ, что Буваръ и Гёсси еще въ 1834 г. считали вѣроятнымъ существованіе возмущающаго тѣла, находящагося за Ураномъ. Самъ Айри думалъ тогда, что еще не пришло время для изслѣдованія какихъ-нибудь внѣшнихъ дѣйствій на планеты. Но Адамсъ однако тогда же сталъ трудиться надъ разрѣшеніемъ проблемы. Еще въ 1841 г. (какъ онъ самъ увѣрялъ меня) онъ предположилъ существованіе планеты за Ураномъ, и въ своей памятной книжкѣ записалъ, что нужно изслѣдовать ея дѣйствія; но отложилъ вычисленіе ихъ до тѣхъ поръ, пока не кончитъ своихъ приготовленій къ экзамену, который онъ долженъ былъ держать въ университетѣ въ январѣ 1841 г. для полученія степени баккалавра искусствъ. Онъ успѣшно выдержалъ экзаменъ и тотчасъ же принялся за приведеніе въ исполненіе своего намѣренія и обратился

къ королевскому астроному съ просьбой сообщить ему наблюденія, которыя будутъ нужны ему при его вычисленіяхъ. Въ октябрѣ 1845 г. Адамсъ отправился въ Гринвичскую обсерваторію и, не заставъ дома королевскаго астронома, оставилъ ему записку, заключавшую въ себѣ величины элементовъ предполагаемой планеты за Ураномъ. Долгота ея въ этой запискѣ опредѣлена была въ $323^1/_2$ градуса, а въ іюнѣ 1846 г., какъ мы видѣли, явился мемуаръ Леверрье, въ которомъ онъ опредѣлилъ долготу ея въ 325 градусовъ; такое согласіе было поразительно. «Я не могу вполнѣ выразить, говоритъ Айри, того чувства радости и удовольствія, которое я испытывалъ при чтеніи мемуара Леверрье». Такое же чувство естественно ощущали и другіе. Сэръ Джонъ Гершель, въ сентябрѣ 1846 г., на собраніи Британскаго Общества въ Соутгэмптонѣ, сказалъ: «мы видимъ ее (предполагаемую новую планету), какъ Колумбъ видѣлъ Америку съ береговъ Испаніи. Мы увидали ея движеніе въ то время, когда она проходила по линіи нашего анализа, и увидали съ несомнѣнностью, не меньшею той, какую даетъ намъ наблюденіе посредствомъ зрѣнія».

И въ самомъ дѣлѣ въ тотъ моментъ, когда это говорилось, новая планета уже была замѣчена Чаллисомъ; потому что, какъ мы уже сказали, она проходила передъ его глазами въ первой половинѣ августа. Она вошла уже въ то мѣсто на небѣ, которое онъ избралъ для наблюденій съ цѣлью ея открытія; но, принявъ для своихъ наблюденій медленный и осторожный планъ, онъ не воспользовался тѣмъ, что она попала въ его западню, и не сличилъ своихъ нѣ-

скольких наблюденій, а это бы дало ему возможность открыть искомую планету. Как только он получил 29 сентября мемуар Леверрье от 31 августа, то был так поражен основательностью и ясностью определенія того поля наблюденія, на которое нужно было обратить вниманіе, что тотчас же изменил план своего наблюденія и в тот же вечер заметил планету по внешнему виду, так как она имела видимый диск.

Таким образом теорія тяготенія предсказала и сделала открытіе. Предсказать теоретически неизвестные факты, которые потом подтвердятся наблюденіем, это, как я сказал, такое подтвержденіе теоріи, которое по своей важности и поразительности далеко оставляет за собой всякое объясненіе теоріею уже известных фактов. Таких подтвержденій было весьма немного в исторіи науки и они случались только с самыми полными и разработанными теоріями, каковы напр. теоріи в Астрономіи и Оптике. О математическом искусстве, которое требовалось для такого открытія, можно до некоторой степени судить по тем уже изложенным нами математическим успехам, которые предшествовали составленію теоріи тяготенія. Самые проницательные, глубокіе и ясные умы всю жизнь свою употребляли на разрешеніе такой проблемы; даны были планетныя тела и требовалось найти их взаимныя возмущенія. В настоящем же случае разрешена была обратная проблема: даны были возмущенія и по ним требовалось найти возмущающую планету *).

*) Эта проблема может быть названа обратной толь-

Аномаліи въ дѣйствіяхъ тяготѣнія. — Та полнота и точность, съ какой ученіе о тяготѣніи объясняетъ и движенія кометъ также, какъ и движенія планетъ, сдѣлала астрономовъ весьма смѣлыми въ ихъ гипотезахъ для объясненія тѣхъ движеній, которыя не соотвѣтствуютъ теоріи тяготѣнія. Найдено было напр., что движеніе кометы Энке ускоряется на $^1/_8$ дня въ теченіе каждаго оборота ея вокругъ солнца. Этотъ фактъ былъ открытъ прежними наблюденіями и подтвердился временемъ появленія кометы въ 1852 г. Гипотеза, предложенная для объясненія этого явленія, предполагаетъ, что комета движется въ сопротивляющейся средѣ, которая заставляетъ комету уклоняться внутрь ея орбиты, ближе къ солнцу; вслѣдствіе этого орбита ея съуживается и потому уменьшается время ея движенія по ней. Съ другой стороны, Леверье нашелъ, что среднее движеніе Меркурія также уменьшается, какъ будто-бы планета съ каждымъ ея обращеніемъ уходитъ дальше отъ солнца. Для объясненія этого явленія предполагаютъ, что въ пространствѣ, гдѣ движется Меркурій, есть сопротивляющаяся среда,

---

ко относительно другихъ прежнихъ и обыкновенныхъ проблемъ. Но это названіе не соотвѣтствуетъ той фразеологіи, какая принята для проблемъ о центральныхъ силахъ. Въ «Principia» Ньютона о тѣхъ отдѣлахъ, въ которыхъ по данному движенію отыскивается центральная сила, говорится, что они содержатъ въ себѣ прямую проблему центральныхъ силъ; а въ VIII отдѣлѣ I книги, гдѣ по данной силѣ отыскивается орбита, говорится, что онъ заключаетъ въ себѣ обратную проблему центральныхъ силъ.

которая движется вокругъ солнца въ томъ же направленіи, въ какомъ движутся и планеты. Что вокругъ солнца существуетъ родъ туманной атмосферы, которая простирается за орбиты Меркурія и Венеры, это подтверждается, повидимому, явленіями такъ-называемаго Зодіакальнаго Свѣта; и такъ какъ само солнце вращается на своей оси, то вѣроятно, что и эта атмосфера также вращается*). Также точно Леверрье думаетъ, что кометы, которыя вращаются теперь въ обыкновенныхъ планетныхъ границахъ, не всегда вращались здѣсь, но что онѣ были схвачены и удержаны притяженіемъ тѣхъ планетъ, между которыми онѣ движутся. Такимъ образомъ притяженіе Юпитера привело кометы Фэ и Вико въ ихъ настоящія ограниченныя и опредѣленныя орбиты; подобно тому какъ оно извлекло комету Лекселя изъ ея извѣстной орбиты. Комета въ 1779 г. прошла выше планеты и съ тѣхъ поръ не была видима.

Какъ примѣръ той смѣлости, съ какой астрономы предполагаютъ, что тяготѣніе дѣйствуетъ и за границами солнечной системы и что ученіе о тяготѣніи до такой степени приложимо и къ движеніямъ внѣ нашей системы, что на основаніи его могутъ и должны быть составлены гипотезы, объясняющія всякую неправильность въ тамошнемъ движеніи, — мы можемъ указать на ту гипотезу, которой астрономы объясняютъ нѣкоторыя предполагаемыя неправильности въ собственномъ движеніи Сиріуса. Эта гипотеза предложена Бесселемъ, и Петерсъ думаетъ, что она подтверждается его недавними изслѣдованіями («Astr. Nachricht.» XXXI,

*) Леверрье, *Annales de l'obs. de Paris*, vol. I, p. 89.



p. 219 и XXXII, p. 1). Гипотеза состоитъ въ томъ, будто Сиріусъ имѣетъ подлѣ себя другую звѣзду темную и потому невидимую для насъ, и что обѣ звѣзды, вращающіяся вокругъ ихъ общаго центра, движутся вмѣстѣ, какъ одна система;—вслѣдствіе этого намъ кажется, что Сиріусъ движется иногда скорѣе, иногда медленнѣе.

КНИГА VIII.

ВТОРИЧНЫЯ МЕХАНИЧЕСКІЯ НАУКИ.

ИСТОРІЯ АКУСТИКИ.

ВВЕДЕНІЕ.

Вторичныя механическія науки.

Въ Механикѣ и Физической Астрономіи Движеніе и Сила были первоначальными и непосредственными предметами нашего вниманія и изученія. Но есть еще другой классъ Наукъ, которыя стараются и явленія, не очевидно и не непосредственно механическія, поставить въ извѣстную зависимость отъ механическихъ свойствъ и законовъ. Въ этого рода явленіяхъ предметы являются нашимъ чувствамъ не какъ видоизмѣненія пространственныхъ положеній и движеній, но какъ **вторичныя качества**, которыя однако нѣкоторымъ образомъ зависятъ отъ тѣхъ же первоначальныхъ и чисто механическихъ свойствъ. Такимъ образомъ въ этихъ случаяхъ явленія сводятся къ ихъ механическимъ законамъ и причинамъ не прямо, но посредственнымъ, вторичнымъ образомъ; именно мы разсматриваемъ ихъ какъ дѣйствіе среды, находящейся между внѣшнимъ предметомъ и органами нашихъ чувствъ. Поэтому мы можемъ назвать эти науки Вторичными Механическими Науками. Науки этого рода, подлежащія теперь нашему

разсмотрѣнію, занимаются чувственными качествами, именно Звукомъ, Свѣтомъ и Теплотой и называются Акустикой, Оптикой и Термотикой.

Я долженъ напомнить здѣсь, что наша цѣль состоитъ вовсе не въ томъ, чтобы представить полное изложеніе всѣхъ пріобрѣтеній, которыя постепенно дѣлались и увеличивали сумму нашихъ знаній объ этихъ предметахъ, или перечислять всѣхъ ученыхъ, которые дѣлали эти пріобрѣтенія; но въ томъ, чтобы представить обзоръ прогресса каждаго изъ этихъ отдѣловъ знанія, какъ теоретической науки,—указать Эпохи открытія тѣхъ общихъ принциповъ, которые множество фактовъ подвели подъ одну теорію, и наконецъ отмѣтить, что̀ было болѣе характеристическаго и поучительнаго въ обстоятельствахъ и дѣятельности людей, составившихъ эти эпохи. Исторія всякой науки, написанная съ такой точки зрѣнія, можетъ быть очень краткой; но она не достигнетъ своей цѣли, если не представитъ отчетливо самыхъ замѣчательныхъ и выдающихся фактовъ въ развитіи науки.

Мы начнемъ нашу исторію Вторичныхъ Механическихъ Наукъ съ Акустики; потому что развитіе вѣрныхъ теоретическихъ воззрѣній совершилось гораздо раньше въ ученіи о Звукѣ, чѣмъ о Свѣтѣ и Теплотѣ, и потому что такимъ образомъ ясное пониманіе теоріи, до которой дошла Акустика, будетъ самымъ лучшимъ приготовленіемъ къ трудностямъ довольно значительнымъ, которыя мы встрѣтимъ въ теоріяхъ двухъ другихъ наукъ.



ГЛАВА I.

Приготовительный періодъ къ Разрѣшенію Проблемъ Акустики.

Вѣрная теорія звука была до нѣкоторой степени понимаема уже самыми первыми мыслителями, разсуждавшими объ этомъ предметѣ, хотя понятія ихъ были весьма неопредѣленны и сбивчивы. Что звукъ происходитъ отъ движенія звучащаго тѣла и доходитъ до слуха посредствомъ какого-то движенія воздуха,— это мнѣніе мы встрѣчаемъ въ самые ранніе періоды философскаго естествовѣдѣнія. Аристотель представляется намъ самымъ лучшимъ представителемъ этой ранней ступени въ развитіи понятій о звукѣ. Въ своемъ трактатѣ «о Звукѣ и Слухѣ» онъ говоритъ: «звукъ происходитъ тогда, когда тѣла движутъ воздухъ, но не оттого, что воздухъ принимаетъ извѣстную форму, какую сообщило ему звучащее тѣло, а оттого, что онъ движется соотвѣтствующимъ образомъ (вѣроятно онъ понимаетъ здѣсь соотвѣтствіе толчку или импульсу, данному звучащимъ тѣломъ); воздухъ при-

этомъ сжимается и расширяется и потомъ снова отталкивается вслѣдствіе импульса дыханія или движенія струны. Потому что когда дыханіе выходитъ и ударяетъ воздухъ, лежащій ближе къ нему, то этотъ воздухъ подвигается впередъ съ извѣстной силой; и тотъ воздухъ, который соприкасается къ первому, также подвигается впередъ, такъ что одинъ и тотъ же звукъ распространяется по всѣмъ направленіямъ, гдѣ происходитъ такое движеніе воздуха.»

Какъ во всѣхъ подобныхъ разсужденіяхъ древнихъ физиковъ, такъ и въ этомъ, каждый найдетъ различныя доли истины и отчетливости. Почитатели древности, перетолковавъ выраженія на основаніи новыхъ понятій о предметѣ, могутъ находить въ приведенномъ мѣстѣ самое точное понятіе о происхожденіи и распространеніи звука; между тѣмъ какъ другіе могутъ утверждать, что въ умѣ Аристотеля соединялись съ приведенными выраженіями самыя неопредѣленныя понятія и что его объясненія суть просто словесныя обобщенія. Это послѣднее мнѣніе рѣзко было высказано Бакономъ *). «Толчекъ или ударъ воздуха, которые считаются нѣкоторыми за причину звука, не показываютъ намъ ни формы, ни скрытаго процесса звука; это просто выраженія, свидѣтельствующія о невѣжествѣ и поверхностномъ пониманіи.» Дѣйствительно, нельзя отрицать, что точное и отчетливое пониманіе той формы движенія воздуха, посредствомъ которой распространяется звукъ, было недоступно древнимъ философамъ и установилось въ наукѣ гораздо

---

*) Baco, «*Historia soni et auditus*», vol IX, p. 68.



позже. Было вовсе не легко поставить такія движенія въ связь съ очевидными явленіями движенія. Процессъ звука не представляется непосредственно нашему зрѣнію, какъ движеніе; потому что, какъ замѣчаетъ Баконъ *), звукъ не движетъ замѣтно пламя свѣчи, нитку или другой какой-нибудь легкій предметъ, которые колеблются отъ малѣйшаго движенія воздуха. Тѣмъ не менѣе убѣжденіе, что звукъ есть движеніе воздуха, твердо стояло въ умахъ людей и пріобрѣтало дальнѣйшую отчетливость. Объясненіе звука, которое даетъ Витрувій въ слѣдующемъ мѣстѣ, даже въ настоящее время можетъ считаться удовлетворительнымъ. «Голосъ,» говоритъ онъ **), «есть дыханіе летящее и дѣлающееся чувствительнымъ для слуха вслѣдствіе того, что оно потрясаетъ воздухъ. При этомъ воздухъ движется въ безчисленныхъ концентрическихъ кругахъ, подобно тому, какъ, бросивъ камень въ спокойную поверхность воды, мы производимъ безчисленные круги волнъ, начинающихся отъ центра и распространяющихся вовнѣ, до тѣхъ поръ, пока недостатокъ пространства, или другое какое-либо препятствіе, не задержитъ дальнѣйшаго распространенія волнъ. Точно такимъ же образомъ и голосъ или звукъ производитъ круги въ воздухѣ. Но въ водѣ круги движутся только въ широту по горизонтальной плоскости, тогда какъ звукъ постепенно распространяется въ воздухѣ не только въ широту, но и въ высоту.»

Это сравненіе и это пониманіе разницы между дву-

*) Ibid **) «De architectura», V, 3



мя сравниваемыми волнообразными движеніями доказываетъ, что архитекторъ Витрувій имѣлъ весьма ясное и отчетливое представленіе о звукѣ. Это же видно изъ того, что онъ далѣе резонансъ или отраженіе звука отъ стѣнъ зданія сравниваетъ съ измѣненіемъ или разрушеніемъ формы крайней водяной волны, когда она встрѣчаетъ препятствіе и отбрасывается имъ назадъ. «Такимъ образомъ», говоритъ онъ, «какъ крайнія линіи водяной волны, такъ и волны звука, если онѣ не задерживаются какимъ нибудь препятствіемъ, то вторая волна и слѣдующія за ней движутся впередъ и всѣ доходятъ до слуха слушающихъ лицъ, гдѣ бы они ни стояли, вверху или внизу, и при этомъ не происходитъ никакого резонанса. Но когда волны встрѣчаютъ препятствіе, то самая крайняя волна, будучи отброшена назадъ, нарушаетъ линіи всѣхъ другихъ волнъ слѣдовавшихъ за ней.» Подобныя же аналогіи были употребляемы еще въ древности для объясненія Эхо. Аристотель говоритъ *): «эхо происходитъ тогда, когда воздухъ, который относительно пространства, въ которомъ онъ содержится, можетъ быть разсматриваемъ какъ тѣло, не можетъ подвигаться впередъ, потому что это пространство ограничено какимъ-нибудь препятствіемъ, но отскакиваетъ отъ него назадъ, какъ шаръ.» Къ этимъ воззрѣніямъ не прибавлено ничего существеннаго даже до новѣйшаго времени.

Такимъ образомъ первыя предположенія тѣхъ, которые философствовали о звукѣ, привели ихъ къ воззрѣнію на причины и законы его, которые слѣдовали

*) «De anima», II, 8.

только отчетливо понять и привести къ механическимъ принципамъ, чтобы составить настоящую Науку о Звукѣ. Для пополненія того, чего здѣсь не доставало, требовалось много времени и много остроумныхъ соображеній. Однако вслѣдствіе первыхъ счастливыхъ догадокъ о звукѣ исторія Акустики приняла особое направленіе, отличное отъ другихъ наукъ. Въ исторіи астрономіи или оптики мы видимъ рядъ обобщеній, которыя вытекали изъ предшествующихъ обобщеній и включали ихъ въ себя; въ акустикѣ же дѣло шло наоборотъ: самое высшее обобщеніе было уже понято съ самаго начала и дѣло философствующихъ естествоиспытателей заключалось только въ томъ, чтобы опредѣлить точно способъ и обстоятельства, посредствомъ которыхъ общій принципъ выражается въ каждомъ частномъ примѣрѣ. Вмѣсто ряда индуктивныхъ истинъ, послѣдовательно возникавшихъ въ умахъ наблюдателей, мы здѣсь видимъ рядъ объясненій, посредствомъ которыхъ извѣстные частные факты и законы, представляемые опытомъ, приводятся въ согласіе съ извѣстнымъ уже общимъ принципомъ и объясняются съ ихъ механическими свойствами и величинами. Вмѣсто постепеннаго приближенія къ великому открытію въ родѣ Всеобщаго Тяготѣнія или Эѳирныхъ Волнообразныхъ движеній, мы здѣсь прямо встрѣчаемся съ общей, уже открытой истиной о происхожденіи и распространеніи звука, посредствомъ движенія тѣлъ и воздуха, и затѣмъ видимъ, какъ она связывается съ другими истинами, уже извѣстными намъ, напр. съ законами движенія, или съ извѣстными уже качествами тѣлъ, напр. съ эластичностью. Вмѣсто Эпохъ Откры-

тія мы имѣемъ здѣсь только Рѣшенія Проблемъ. Къ этимъ рѣшеніямъ мы теперь и переходимъ.

Мы должны однакоже напередъ замѣтить, что эти проблемы заключаютъ въ себѣ и другіе предметы, кромѣ одного только происхожденія и распространенія звука вообще. Потому что эти вопросы предполагаютъ еще другіе вопросы, напр.: каковы законы и причины различія звуковъ, отчего происходятъ звуки громкій и тихій, высокій и низкій, продолжающійся и мгновенный, отчего происходитъ различіе членораздѣльныхъ звуковъ отъ другихъ и различныя качества звуковъ, издаваемыхъ различными инструментами? Первый изъ этихъ вопросовъ, именно о различіи высокихъ и низкихъ тоновъ, долженъ былъ прежде всего обратить на себя вниманіе, и дѣйствительно различіе это сдѣлалось основаніемъ одной изъ самыхъ замѣчательныхъ наукъ древности. Мы находимъ попытки объяснитъ это различіе у самыхъ древнихъ писателей о музыкѣ. Въ «Гармоникѣ» Птолемея 3-я глава I книги озаглавливается такъ: «отчего происходятъ высокіе и низкіе тоны?» Въ этой главѣ, послѣ обзора различія звуковъ вообще и причинъ этого различія (которыя по его мнѣнію состоятъ въ силѣ ударяющаго тѣла, въ физической структурѣ сотрясающагося тѣла и пр.), онъ приходитъ къ тому заключенію, что «причиной высоты звука бываетъ бо̀льшая плотность тѣла и меньшій объемъ его, а низкіе звуки, напротивъ, происходятъ отъ меньшей плотности и отъ большаго объема тѣла.» Далѣе онъ объясняетъ дѣло такимъ способомъ, въ которомъ заключается значительная доля истины; именно, онъ говоритъ, «что въ струнахъ и трубахъ,

при всѣхъ прочихъ равныхъ обстоятельствахъ, тѣ струны, которыя прикрѣплены на меньшемъ разстояніи отъ подставки, даютъ болѣе высокіе тоны, а въ трубахъ бываютъ самыми высшими тѣ тоны, которые выходятъ изъ дирочекъ, ближайшихъ къ отверстію трубы». Потомъ онъ дѣлаетъ попытку къ дальнѣйшему обобщенію и говоритъ, что звукъ бываетъ тѣмъ выше, чѣмъ больше бываетъ натянуто звучащее тѣло, и что поэтому «твердость тѣла можетъ противодѣйствовать дѣйствію его плотности, какъ мы видимъ напр., что мѣдь производитъ болѣе высокіе тоны, чѣмъ свинецъ». Но понятія Птолемея о напряженіи были весьма неопредѣленны, потому что онъ безразлично прилагаетъ ихъ и къ напряженію натянутой струны, и къ напряженію куска твердой мѣди. Какъ видно, онъ не имѣлъ никакого понятія объ истинномъ свойствѣ того движенія, или импульса, которымъ распространяется звукъ, и о тѣхъ механическихъ принципахъ, которыми объясняются эти движенія. Понятіе о сотрясеніяхъ или вибраціяхъ частей звучащихъ тѣлъ не казалось ему существеннымъ обстоятельствомъ въ явленіи, хотя во многихъ случаяхъ, какъ напр. въ звучащей струнѣ, фактъ этихъ сотрясеній или вибрацій былъ очевиденъ. Понятія о вибраціяхъ воздуха мы не встрѣчаемъ у древнихъ писателей; эти вибраціи они представляли себѣ только въ видѣ сравненія воздушныхъ и водяныхъ волнъ, какъ мы видѣли у Витрувія. Кромѣ того, невѣроятно, чтобы они представляли себѣ отчетливо движеніе частицъ даже въ волнахъ воды, потому что это движеніе далеко не очевидно.

Попытки отчетливо понять и объяснить механическими законами явленія звука вызвали цѣлый рядъ проблемъ, исторію которыхъ мы сообщимъ здѣсь вкратцѣ. Вопросы, которые главнымъ образомъ составляютъ Науку Акустики, суть вопросы о тѣхъ движеніяхъ и видоизмѣненіяхъ воздуха, посредствомъ которыхъ онъ становится средой, проводящей звукъ до нашего слуха. Но движенія звучащихъ тѣлъ такъ тѣсно связаны съ движеніями этой среды и такъ много имѣютъ съ ними сходства, что мы и ихъ должны включить въ нашъ историческій обзоръ изслѣдованій объ этомъ предметѣ.

ГЛАВА II.

Проблема Дрожащихъ или Вибрирующихъ Струнъ.

Какъ мы уже видѣли, продолженіе звука зависитъ отъ продолжающагося небольшаго и быстраго движенія, отъ дрожанія или сотрясенія частей звучащаго тѣла. Такимъ образомъ Баконъ говоритъ *): «продолженіе звука колокола или струны, который повидимому распространяется и потомъ постепенно ослабѣваетъ, зависитъ не отъ перваго только толчка или удара этихъ тѣлъ; но дрожаніе тѣла, которое постоянно ударяютъ, рождаетъ новый звукъ. Потому что, если это дрожательное движеніе останавливать, схвативъ колоколъ или струну, то звукъ тотчасъ же прекращается, какъ напр. въ спинетѣ (родъ фортепьяно) звукъ тотчасъ же прекращается, какъ только падающій молотокъ коснется струны и остановится на ней». На натянутой струнѣ не трудно убѣдиться, что звуковое движеніе ея есть уклоненіе взадъ и впередъ отъ той

---

*) «Hist. soni et auditus», vol. IX, p. 71.



прямой линіи, въ какой находится струна, остающаяся въ покоѣ. Поэтому дальнѣйшее изслѣдованіе количественныхъ условій этого качательнаго движенія представлялось само собой и было очевидной проблемой, особенно послѣ того, какъ школа Галилея обратила всеобщее вниманіе на качательныя движенія хотя и другаго рода, именно на качаніе маятника. Мерсеннь, одинъ изъ распространителей воззрѣній Галилея во Франціи, насколько я знаю, первый занялся изслѣдованіемъ подробностей этого явленія («Harmonicorum liber», Парижъ 1636). Онъ утверждаетъ (lib. I, prop. 15), что различіе и соотвѣтствіе между высокими и низкими тонами зависитъ отъ быстроты вибрацій и ихъ отношеній между собой; и доказываетъ это положеніе рядомъ опытовъ. Такъ онъ находитъ (lib. II, prop. 6), что Тонъ струны пропорціоналенъ ея длинѣ, и доказываетъ это тѣмъ, что беретъ струну вдвое и вчетверо длиннѣе первоначальной струны, оставляя неизмѣнными прочія условія и обстоятельства. Это было уже извѣстно и древнимъ и служило основаніемъ для обозначенія числами тоновъ. — Далѣе Мерсеннь показываетъ дѣйствіе толщины и напряженія струны на высоту тона. Онъ находитъ (prop. 7), что струна, для того, чтобы дать тонъ октавой ниже другаго тона, должна быть въ четыре раза толще струны, издающей этотъ тонъ. Онъ нашелъ также (prop. 7), что струна, должна быть натянута въ четыре-раза больше, чтобы дать звукъ октавой выше. Изъ этихъ положеній были выведены и многія другія, такъ что послѣ этого можно было уже считать найденнымъ законъ явленій этого рода. — Затѣмъ Мерсеннь рѣшился измѣрить явленіе

численно, т. е. опредѣлить число дрожаній или вибрацій струны въ каждомъ изъ указанныхъ имъ случаевъ. Это съ перваго раза представляется труднымъ; такъ какъ невозможно конечно замѣтить глазомъ и сосчитать качаній звучащей струны взадъ и впередъ. Но Мерсеннь справедливо предположилъ, что число вибрацій струны одинаково, если одинаковъ тонъ, и что поэтому числовыя отношенія между вибраціями различныхъ струнъ могутъ быть опредѣлены по числовымъ отношеніямъ между ихъ звуками. Такимъ образомъ ему стоило только опредѣлить число вибрацій одной извѣстной струны или одного извѣстнаго тона, чтобы узнать число вибрацій и всѣхъ другихъ тоновъ, или струнъ. Онъ взялъ музыкальную струну въ $^3/_4$ фута длины, которая была натянута тяжестью въ $6^5/_8$ фунтовъ и давала своими вибраціями извѣстный тонъ, который онъ принялъ какъ основной тонъ. Затѣмъ онъ нашелъ, что струна изъ такого же матеріала и такъ же натянутая, но имѣющая 15 футовъ въ длину, т. е. значитъ въ 20 разъ длиннѣе первой, сдѣлала 10 полныхъ качаній въ секунду. Изъ этого онъ и заключилъ, что число качаній или вибрацій болѣе короткой струны должно быть въ 20 разъ больше, чѣмъ въ длинной, и что такая струна должна дѣлать въ секунду 200 вибрацій.

Эти опредѣленія Мерсенния не обратили на себя тогда должнаго вниманія. Но спустя нѣсколько времени были сдѣланы болѣе прямыя попытки опредѣлить связь между звуками и числомъ колебаній. Гукъ въ 1681 г. произвелъ тоны посредствомъ ударенія зубцовъ метал-

лическихъ колесъ *); а Станкари посредствомъ вращенія громаднаго колеса въ воздухѣ показалъ передъ Болонской академіей; какъ можно посредствомъ него узнать число вибрацій въ каждомъ данномъ тонѣ. Совёръ, одинъ изъ великихъ дѣятелей въ наукѣ о звукѣ, давшій ей имя акустики и усердно занимавшійся ею несмотря на то, что былъ глухъ въ теченіе первыхъ 7 лѣтъ своей жизни, старался опредѣлить число вибрацій основнаго тона, или, какъ онъ называлъ, основнаго звука. Онъ употреблялъ для этого два метода, оба очень остроумные и не прямые. Первый методъ былъ методъ перебоя звуковъ. Если звучать вмѣстѣ двѣ органныя трубки, которыя даютъ диссонансъ, то при этомъ по временамъ слышится особенный воющій и волнующійся звукъ; и въ небольшіе промежутки этотъ общій звукъ ихъ то усиливается, то опять ослабѣваетъ. Это явленіе онъ справедливо приписывалъ совпаденію колебаній тоновъ въ обоихъ трубкахъ въ концѣ опредѣленнаго промежутка времени. Такимъ образомъ, напр., если числа сотрясеній этихъ двухъ тоновъ относятся между собою, какъ 15 и 16, то каждое 15-е сотрясеніе одного тона должно совпадать съ каждымъ 16-мъ другаго; между тѣмъ какъ всѣ промежуточныя колебанія должны болѣе или менѣе уклоняться одно отъ другаго, и такимъ образомъ каждое 15-е и 16-е качаніе замѣчается какъ особенный тонъ, какъ столкновеніе тоновъ обѣихъ трубокъ. Затѣмъ Совёру нужно, было только найти такой случай, въ которомъ бы эти столкновенія были такъ медленны,

*) Life, p. XXIII:

чтобы ихъ можно было считать *) и въ которомъ отношеніе вибрацій тоновъ уже было бы извѣстнымъ, по ихъ музыкальнымъ отношеніямъ. Такимъ образомъ если два тона имѣютъ между собой промежутокъ въ полутонъ, то отношеніе между ними будетъ какъ 15 къ 16, и если въ секунду замѣчается 6 столкновеній, то поэтому видно, что въ это время низшій тонъ дѣлаетъ 90, а высшій 6×90 или 540 сотрясеній. Этимъ путемъ Совёръ нашелъ, что открытая органная трубка въ 5 футовъ длины даетъ въ каждую секунду 100 колебаній.

Другой методъ Совёра нѣсколько сложнѣе, и въ немъ обнаруживается уже механическое воззрѣніе на вопросъ **). При этомъ методѣ онъ выходилъ изъ той мысли, что струна, горизонтально натянутая, не можетъ быть математически точной прямой линіей, но что она составляетъ кривую и виситъ подобно фестону. Поэтому Соверъ предполагалъ, что поперечныя вибраціи этой струны имѣютъ сходство съ боковыми движеніями подобнаго фестона. Узнавъ затѣмъ, что струна *C* въ срединѣ фортепьяно изогнута внизъ такимъ фестономъ на $^1/_{323}$ дюйма, онъ вычислилъ, на основаніи законовъ маятника, время ея качаній, и нашелъ, что оно составляетъ $^1/_{122}$ секунды. Такимъ образомъ *C*, которое онъ назвалъ постояннымъ, или основнымъ тономъ, дѣлаетъ 122 вибраціи въ секунду. Любопытно, что этотъ процессъ, повидимому такой произвольный, можетъ быть подтвержденъ механическими принципами, хотя и трудно согласиться съ ав-

*) Ac. Sc. Hist 1700, p. 131.

**) Ibid., 1713.

торомъ его въ тѣхъ воззрѣніяхъ, какія онъ приводитъ въ подтвержденіе своего метода. Кромѣ того легко понять, что этотъ методъ согласуется съ другими экспериментами въ томъ, что онъ даетъ одинаковые съ ними законы зависимости тоновъ отъ длины и натянутости струны.

Послѣ того, когда такимъ образомъ былъ вполнѣ опредѣленъ Мерсеннемъ и Совёромъ законъ явленія, вниманіе математиковъ естественно обратилось на проблему удовлетворительнаго объясненія указанной зависимости на основаніи механическихъ принциповъ. Само собой возникало желаніе показать, что качества и величины явленія, указанныя опытомъ, дѣйствительно таковы, какъ того требуютъ извѣстные уже механическіе принципы и законы. Но эта проблема, какъ легко видѣть, не могла быть разрѣшена до тѣхъ поръ, пока не были удовлетворительно развиты механическіе принципы и способы ихъ приложенія.

Такъ какъ вибраціи струны производятся ея натянутостью, то прежде всего было необходимо опредѣлить законъ этой натянутости, дѣйствующей при движеніи струны; потому что было очевидно, что если струну оттянуть нѣсколько въ сторону отъ прямой линіи, по которой она натянута, то отъ этого происходитъ прибавочная натянутость, которая помогаетъ струнѣ возвращаться назадъ къ прямой линіи, какъ только мы пустимъ ее. Гукъ («On Spring», 1678) опредѣлилъ законъ этой прибавочной натянутости и выразилъ его въ слѣдующей формѣ: «Ut tensio sic vis», Сила пропорціональна Натянутости, или выражая тоже самое яснѣе: Сила натянутости пропорціональна Протя-

женію или, какъ это бываетъ въ струнѣ, пропорціональна увеличенію длины. Но этотъ принципъ, важный во многихъ другихъ акустическихъ проблемахъ, не былъ важенъ для настоящаго случая; сила, которая заставляетъ струну возвращаться къ прямой линіи, зависитъ при такихъ малыхъ разстояніяхъ, какія мы имѣемъ здѣсь, не отъ напряженія, или натянутости, а отъ кривизны; и потому для разрѣшенія этой проблемы требовалось сначала умѣнье побѣдить математическія трудности, представляемыя опредѣленіемъ кривизны и ея механическихъ слѣдствій.

Проблема въ ея настоящемъ видѣ была поставлена и рѣшена Брукъ-Тайлоромъ, англійскимъ математикомъ изъ школы Ньютона, и рѣшеніе ея онъ изложилъ въ своемъ сочиненіи «Metodus Incrementorum», напечатанномъ въ 1715 г. Но рѣшеніе Тайлора было не полно; потому что онъ указывалъ только форму и способъ вибраціи, какими струна *можетъ* двигаться согласно съ законами механики, но не способъ, какимъ она *должна* двигаться, какова бы ни была ея форма. Онъ показалъ, что кривая, описываемая струной, можетъ имѣть свойства той кривой, какую называютъ «сопутствующей циклоиду». Предположивъ, что кривая, описываемая струной, имѣетъ такую форму, онъ посредствомъ вычисленій подтвердилъ найденные прежде посредствомъ опытовъ законы, которыми опредѣляется зависимость тона или времени вибрацій струны отъ ея длины, натянутости и толщины. Математическая неполнота рѣшенія Тайлора не мѣшаетъ намъ считать его рѣшеніе этой проблемы весьма важнымъ шагомъ въ прогрессѣ этой отрасли предмета. Потому

что, если уже разъ побѣждена была трудность приложенія механическихъ принциповъ къ вопросу, то послѣдующимъ математикамъ уже легче и вѣрнѣе можно было заняться расширеніемъ и исправленіемъ этого приложенія; что дѣйствительно скоро и случилось. Кромѣ того мы можемъ еще прибавить, что при послѣдующихъ и болѣе общихъ рѣшеніяхъ мы всегда должны имѣть въ виду рѣшеніе Тайлора, чтобы ясно понять ихъ важность, и что, далѣе, каждому математику было почти очевидно еще прежде общаго рѣшенія, что зависимость времени вибрацій отъ длины и натянутости во всѣхъ случаяхъ будетъ такая же, какая была въ кривой, предположенной Тайлоромъ; такъ что съ точки зрѣнія физики рѣшеніе Тайлора было почти полное.

Черезъ нѣсколько лѣтъ потомъ Иванъ Бернулли *) разрѣшилъ проблему вибрацій струнъ почти на основаніи тѣхъ же принциповъ и предположеній, какъ и Тайлоръ. Но въ 1747 г. великіе математики слѣдующаго поколѣнія д'Аламберъ, Эйлеръ и Даніилъ Бернулли приложили къ общему рѣшенію этой проблемы еще болѣе сильный анализъ и для этой цѣли придумали такъ-называемый частичный дифференціалъ. Но эти изслѣдованія, насколько онѣ относятся къ физикѣ, принадлежатъ съ этихъ поръ исторіи уже другой проблемы, которую мы будемъ разсматривать впослѣдствіи, т. е. проблемы сочетанія или соединенія вибрацій; поэтому мы отложимъ дальнѣйшую исторію проблемы вибрирующихъ струнъ и будемъ впослѣдствіи разсматривать ее съ новыми опытными фактами.

*) Opera, III, p 207.



ГЛАВА III.

Проблема Распространенія Звука.

Мы уже видѣли, что древніе философы думали, что звукъ передается также, какъ и производится, какимъ-то движеніемъ воздуха, хотя они и не могли опредѣлить, какого рода это движеніе. Нѣкоторые изъ нихъ для объясненія этого движенія находили очень удачныя и счастливыя сравненія, напр. сравнивали его съ распространяющимся движеніемъ круговыхъ волнъ, произведенныхъ камнемъ, брошеннымъ на спокойную поверхность воды. Но другіе отвергали этотъ способъ представленія предмета, какъ напр. Баконъ, который самъ приписывалъ распространеніе и передачу звука какимъ-то особеннымъ духовнымъ качествамъ (species spiritualis).

Какъ ни легко было предположить, что движеніе звука зависитъ отъ движенія воздуха, однако опредѣленіе того, какого рода движеніе можетъ произвести и дѣйствительно производитъ это дѣйствіе, было вопросомъ очень запутаннымъ для того времени, о ко-

торомъ мы говоримъ: да и въ настоящее время оно не слишкомъ легко и ясно для многихъ. Мы можемъ понять всю трудность представить себѣ отчетливо это движеніе, когда вспомнимъ, что Иванъ Бернулли младшій прямо объявилъ, что онъ не можетъ понять положеній Ньютона объ этомъ предметѣ *). Трудность этого представленія происходитъ оттого, что движеніе частичекъ воздуха, производящее звукъ, подвигается впередъ, но сами эти частички не принимаютъ участія въ этомъ поступательномъ движеніи. Поэтому Отто Герике, изобрѣтатель воздушнаго насоса, спрашиваетъ: «какъ можно считать звукъ движеніемъ воздуха, когда мы видимъ, что звукъ гораздо лучше распространяется черезъ воздухъ, находящійся въ покоѣ, чѣмъ тогда, когда воздухъ движется вѣтромъ **)?» Кромѣ того, мы можемъ замѣтить, что Герике ошибался, когда утверждалъ, будто онъ посредствомъ опытовъ нашелъ, что можно слышать звонъ колокольчика, помѣщеннаго въ безвоздушномъ пространствѣ подъ колоколомъ его воздушнаго насоса. Этотъ результатъ вѣроятно происходилъ отъ какого-нибудь недостатка въ устройствѣ его аппарата.

Было сдѣлано много попытокъ опредѣлить посредствомъ опытовъ обстоятельства движенія звука и въ особенности его скорость. Гассенди первый сдѣлалъ эти опыты ***). Онъ употреблялъ для этой цѣли огне-

---

*) См. его сочиненіе «О Свѣтѣ», написанное на премію въ 1736.

**) «De vacuo spatii», p. 138.

***) Fischer, *Geschichte der Physik*, I, 171.



стрѣльное оружіе и такимъ образомъ нашелъ, что скорость звука составляетъ 1473 парижскихъ фута въ секунду. Робервалъ нашелъ скорость звука гораздо меньше, именно 560 футовъ; такъ что вопросъ остался нерѣшеннымъ и вслѣдствіе этого даже соображенія Ньютона о немъ были ошибочны *). Кассини, Гюйгенсъ, Пикаръ, Рёмеръ нашли скорость звука въ 1172 парижскихъ фута, что конечно было гораздо точнѣе результатовъ Гассенди, который очень былъ удивленъ, когда нашелъ, что сильный и слабый звукъ распространяются въ воздухѣ съ одинаковой скоростью.

Объясненіе этой неизмѣняющейся скорости звука и величины ея было проблемой, которая рѣшена Великой Хартіей новой науки въ «Principia» Ньютона (1687). Здѣсь прежде всего было объяснено настоящее свойство движеній и взаимное дѣйствіе частицъ воздуха, по которымъ распространяется звукъ. Было показано (lib. II, p. 43), что тѣло, дрожащее или вибрирующее въ эластической средѣ, распространяетъ свои удары или пульсы черезъ всю среду, т. е. частицы этой среды движутся взадъ и впередъ, что это движеніе преемственно передается и тѣмъ частицамъ, которыя лежатъ на постоянно удаляющемся разстояніи отъ начала этого движенія. Частицы, подвигаясь впередъ, производятъ сгущеніе, а возвращаясь назадъ на свои прежнія мѣста, производятъ расширеніе воздуха; и дѣйствіе эластичности, происходящей отъ этихъ слѣдующихъ другъ за другомъ сгущеній и расширеній, и есть та сила, которая

*) «Principia», lib. II, p. 50 schol.



постоянно поддерживаетъ и распространяетъ это движеніе.

Понятіе о такомъ движеніи, какъ мы уже сказали, не легко себѣ представить и усвоить; но правильное и отчетливое усвоеніе его есть необходимый шагъ въ развитіи того отдѣла наукъ, которымъ мы теперь занимаемся, потому что посредствомъ такихъ пульсовъ, круговыхъ волнообразныхъ движеній, или ондуляцій, распространяется не только звукъ, но и свѣтъ, даже вѣроятно и теплота. Мы видимъ во многихъ случаяхъ, какъ трудно представлять себѣ это волнообразное движеніе и какъ трудно отдѣлять его въ мысляхъ отъ поступательнаго движенія всей среды, какъ цѣлой массы. Напримѣръ, не легко представить себѣ съ перваго раза, что вода большой рѣки постоянно течетъ внизъ къ морю, между тѣмъ какъ волны въ той же самой части рѣки катятся вверхъ противъ теченія, и большой подъемъ воды, составляющей волну, идетъ вверхъ по рѣкѣ съ скоростью 15 миль въ часъ. Такое движеніе волны, или подъема ея, отлично отъ общаго теченія рѣки и есть настоящее волнообразное движеніе. Частицы жидкости поднимаются на короткое время и на небольшое разстояніе надъ уровнемъ жидкости, соединяются около сосѣдней части и затѣмъ снова возвращаются на прежнее мѣсто; и такое движеніе сообщается различнымъ частямъ по порядку ихъ положенія. Настоящее понятіе объ этомъ явленіи можно легче себѣ составить, если посмотрѣть, какъ волнуются хлѣбные колосья въ поляхъ. При этомъ волненіи конечно нѣтъ поступательнаго движенія стеблей, которые прикрѣплены къ землѣ, и бываетъ только

попеременное наклоненіе и поднятіе колосьевъ, вслѣдствіе чего по всей нивѣ появляются углубленія и возвышенія, — мѣста, гдѣ колосья сбиваются между собою чаще и рѣже, т. е. происходитъ настоящее волнообразное движеніе.

Ньютонъ кромѣ того разсмотрѣлъ механическія послѣдствія, которыя происходятъ отъ такихъ сгущеній и разрѣженій эластической среды или воздуха въ самихъ частицахъ его. Основываясь на извѣстныхъ законахъ эластичности воздуха, онъ показалъ въ замѣчательной теоремѣ («Princ.» lib. II, prop. 48) законъ, по которому могутъ вибрировать частицы воздуха. Мы можемъ замѣтить, что въ этомъ рѣшеніи, также какъ и въ упомянутомъ рѣшеніи проблемы вибрирующей струны, было найдено только правило, по которому эти частицы могутъ волнообразно двигаться, а не законъ, по которому онѣ должны двигаться. Было доказано, что если предположить, что движеніе каждой частицы совершенно подобно движенію маятника, то силы, которыя производятся попеременнымъ сгущеніемъ и расширеніемъ, дѣйствительно таковы, что онѣ могутъ произвести волнообразное движеніе, какое мы видимъ въ опытѣ; но не было доказано, что никакіе другіе виды качанія (кромѣ того, какое представляетъ маятникъ) не дадутъ того же соотвѣтствія между силою и движеніемъ. Эти изслѣдованія также привели Ньютона къ теоретическому опредѣленію скорости распространенія звуковыхъ волнъ. Онъ нашелъ, что звукъ распространяется съ такой скоростью, какую пріобрѣло бы тѣло, свободно падающее черезъ половину высоты однородной атмосферы. Подъ этой

высотой однородной атмосферы онъ разумѣлъ высоту, какую должна была бы имѣть атмосфера, предполагая, что плотность ея не уменьшается по мѣрѣ высоты, для того, чтобы произвести на поверхность земли давленіе, какое производитъ дѣйствительно атмосфера, имѣющая неодинаковую плотность. Эта высота составляетъ около 29,000 футовъ, а отсюда слѣдовало, что скорость звука составляетъ 968 футовъ въ секунду. Этотъ результатъ значительно меньше дѣйствительной скорости звука, опредѣленной наблюденіями; но въ это время еще не были сдѣланы точныя измѣренія, и Ньютонъ старался убѣдить себя нѣкоторыми, вѣроятно не точными опытами, которые онъ произвелъ въ Trinity College, его мѣстопребываніи, что его вычисленія скорости звука не далеки отъ дѣйствительности. Когда впослѣдствіи были сдѣланы болѣе точные опыты, давшіе скорость звука 1142 англ. фута, Ньютонъ пытался объяснить эту разницу съ результатами своихъ вычисленій различными соображеніями, изъ которыхъ ни одно не шло къ дѣлу, какъ напр. размѣрами твердыхъ частичекъ, изъ которыхъ состоитъ жидкій воздухъ, или испареніями, которыя примѣшаны къ воздуху. Другіе ученые представляли другія соображенія; но настоящее разъясненіе дѣла предоставлено было значительно позднѣйшему періоду.

Ньютоновы вычисленія скорости звука, хотя и были логически не полны, представляли однако значительный шагъ къ разрѣшенію проблемы. Математикамъ, послѣ этого оставалось только предположить, что полученный имъ результатъ не ограничивается только той гипотезой, для которой онъ былъ полученъ; и дальнѣй-

шее расширеніе гипотезы на другіе случаи могло быть сдѣлано уже и посредственными талантами. Какъ можно было ожидать, логическій недостатокъ Ньютоновскаго рѣшенія тотчасъ же былъ подмѣченъ. Крамеръ, профессоръ въ Женевѣ, воображалъ, что онъ уничтожилъ заключенія Ньютона тѣмъ, что доказалъ, что они могутъ быть примѣнены и къ другимъ родамъ качательныхъ движеній. Дѣйствительно, это противорѣчило 48 предложенію II книги «Principia»; но зато подтверждало и расширяло общіе результаты Ньютоновскаго доказательства, не измѣняло даже скорости звука, и тѣмъ показывало, что эта скорость не зависитъ отъ вида качаній. Неудовлетворительное рѣшеніе этой проблемы требовало болѣе обширныхъ средствъ анализа, которыя и дѣйствительно были придуманы тогда математиками. Этотъ вопросъ былъ рѣшенъ великимъ мастеромъ аналитическихъ обобщеній Лагранжемъ въ 1759 г., когда онъ и два друга его напечатали первый томъ Туринскихъ мемуаровъ. Эйлеръ, по своему обыкновенію, сразу увидѣлъ всю важность новаго рѣшенія и принялся изслѣдовать предметъ съ этой новой точки зрѣнія. Эти два великіе математика употребили для рѣшенія проблемы различныя математическія улучшенія и обобщенія; но ни одно изъ нихъ не измѣнило формулы, которою выражена была скорость звука. И такимъ образомъ разница между результатами вычисленія и наблюденіемъ почти на $^1/_6$ всей величины, становившая въ такое затрудненіе Ньютона, осталась необъясненной.

Удовлетворительное объясненіе этой разницы сдѣла-

но было Лапласомъ. Онъ первый замѣтилъ *), что обыкновенный законъ измѣненій въ эластичности воздуха, зависящихъ отъ его сжатія, не можетъ быть прилагаемъ къ такимъ быстрымъ вибраціямъ, изъ какихъ состоитъ звукъ; потому что внезапное сжатіе воздуха производитъ извѣстную теплоту, отъ которой еще болѣе увеличивается эластичность воздуха. Пропорція этого увеличенія могла быть опредѣлена только опытами, которые бы опредѣлили отношеніе между теплотой и воздухомъ. Лапласъ въ 1816 г. напечаталъ теорему **), которая опредѣляла это добавочное увеличеніе эластичности. Вычисленная при помощи этой теоремы скорость звука довольно точно согласовалась съ результатами лучшихъ, прежде сдѣланныхъ опытовъ, и была подтверждена еще болѣе точными опытами, произведенными впослѣдствіи.

Этотъ шагъ составлялъ завершеніе проблемы распространенія звука, бывшее математической индукціей, полученной посредствомъ фактовъ и подтвержденной фактами. Математическія изслѣдованія объ этомъ предметѣ повели къ интереснымъ математическимъ соображеніямъ и выводамъ, каково напр. употребленіе прерывистыхъ функцій, при рѣшеніи частичныхъ дифференціальныхъ уравненій. Но это относится уже къ исторіи чистой математики. То, что въ этихъ изслѣдованіяхъ относилось собственно къ физической теоріи звука, будетъ указано впослѣдствіи, въ исторіи проблемы движенія воздуха въ трубкахъ, къ которой мы обратимся теперь;

*) «Mécan. Céleste» t. V, lib. XII, p. 96.
**) «Ann. Phys. et Chim.» t. III, p. 288.



но предварительно мы должны еще сказать нѣсколько словъ о другой формѣ, которую приняла проблема вибрирующихъ струнъ.

Неизлишне будетъ замѣтить здѣсь, что послѣдній результатъ изслѣдованій о волнообразномъ движеніи жидкостей показываетъ, что сравненіе движеній воздуха, производящихъ и распространяющихъ звукъ, съ движеніемъ круговыхъ волнъ въ водѣ, распространяющихся изъ какого-нибудь центра, упомянутое въ началѣ настоящей главы, не точно, хотя въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ весьма пригодно. Изъ новыхъ изслѣдованій о волнахъ Скотта *) оказывается, что круговыя волны суть качающіяся волны Втораго порядка и идутъ вмѣстѣ большими группами. Звуковая же волна скорѣе походитъ на большую уединенную Волну Передачи Перваго порядка, о которой мы уже говорили въ 6 главѣ VI книги.

*) «Brit. Ass. Reports for 1844», p. 361.



ГЛАВА IV.

Проблема различныхъ Тоновъ одной и той же Струны.

Уже въ самый ранній періодъ акустики было замѣчено, что одна струна можетъ издавать различные тоны. Мерсеннь *) и другіе уже знали, что когда вибрируетъ и звучитъ струна, тогда однозвучная и находящаяся съ нею въ сосѣдствѣ другая струна тоже начинаетъ вибрировать сама собой безъ всякаго посторонняго прикосновенія къ ней. Онъ зналъ также, что это же явленіе бываетъ и тогда, когда вторая струна составляетъ октаву, или полторы октавы съ первой струной. Этотъ фактъ былъ замѣченъ въ Англіи въ 1674 г. какъ новый и сообщенъ Королевскому Обществу Валлисомъ («Phil. Trans.» 1677, апрѣль). Послѣдующіе наблюдатели замѣтили еще, что длинная струна раздѣляется сама собой на двѣ или на три равныя части, отдѣленныя одна отъ другой узлами

*) «Harmonicorum», liber IV, prop. 28, 1636.



или точками покоя. Это было доказано накладываніемъ кусочковъ бумаги на различныя части звучащей струны. Такое же открытіе было сдѣлано Совёромъ около 1700 г. *). Тоны, производимые такимъ образомъ въ одной струнѣ вибраціей другой, названы были Симпатическими Тонами. Подобные же тоны производятся музыкантами на струнныхъ инструментахъ, когда они касаются струны въ извѣстныхъ опредѣленныхъ направленіяхъ, и эти тоны названы были острыми тонами или Острой Гармоніей. Такіе факты не трудно было объяснить на основаніи воззрѣній Тайлора на механическія условія струны; но зато уже трудно было объяснить тотъ открывшійся фактъ, что звучащее тѣло можетъ производить эти различные тоны въ одно и то же время. Мерсеннь замѣтилъ этотъ фактъ, а Совёръ занимался дальнѣйшимъ изслѣдованіемъ его. Эти тоны, служившіе какъ-бы дополненіемъ къ главному тону струны, названы были Вторичными Тонами, и они обыкновенно составляютъ октаву, 12-ю и даже 17-ю ноту противъ главнаго тона. Для того, чтобы отчетливо представить и объяснить механическими принципами вибраціи, которыми производятся вторичные тоны, требовалось дальнѣйшее развитіе акустики.

Это сдѣлалъ Даніилъ Бернулли въ мемуарѣ, напечатанномъ въ 1755 г. **). Въ немъ онъ высказалъ и доказалъ принципъ сосуществованія малыхъ вибрацій. Уже прежде было извѣстно, что струна можетъ вибрировать или одной выпуклостью (употреб-

---

*) «Mem. de l'Acad. de Paris», 1701.

**) «Berlin. Mem.» 1755, p. 147.

ляя это выраженіе для обозначенія кривой между двумя узлами, которую Бернулли называетъ **животомъ**), или двумя, или тремя, или какимъ угодно числомъ равныхъ выпуклостей съ неподвижными узлами между ними. Даніилъ Бернулли показалъ далѣе, что эти узлы могутъ комбинироваться или соединяться вмѣстѣ такъ, что каждый изъ нихъ можетъ занимать извѣстное мѣсто, какъ будто-бы онъ былъ только одинъ. Этотъ фактъ достаточно объяснялъ сосуществованіе гармоническихъ звуковъ, о которыхъ говорилось выше. Однако д'Аламберъ въ статьѣ «Fundamental» во французской Энциклопедіи и Лагранжъ въ своемъ «трактатѣ о звукѣ», помѣщенномъ въ Туринскихъ Мемуарахъ *), представили многія возраженія противъ такого объясненія. Дѣйствительно, нельзя отрицать, что предметъ этотъ представляетъ трудности; но онѣ нисколько не уменьшаютъ заслуги Бернулли, который указалъ на принципъ Сосуществующихъ, или Совмѣстныхъ Вибрацій и указалъ на важное значеніе этого принципа въ физикѣ.

Мемуаръ Даніила Бернулли, о которомъ мы говоримъ, явился въ то время, когда проблема качаній струны самой темной стороной своей обернулась къ Эйлеру и д'Аламберу и еще болѣе затемнялась ихъ горячимъ споромъ. И когда Бернулли хотѣлъ примирить ихъ и предлагалъ свои воззрѣнія, какъ дѣйствительное рѣшеніе проблемы, тогда какъ въ математическомъ смыслѣ онѣ вовсе не были ея рѣшеніемъ, то его посредничество было съ неудовольствіемъ отвергнуто обо-

*) T I, 64. 103.

ими математиками. Мы здѣсь не имѣемъ нужды говорить о различныхъ видахъ качаній или вибрацій одного и того же тѣла.

Тоны, которые называются низкой или Мягкой Гармоніей, не имѣютъ аналогіи съ упомянутой выше острой гармоніей и не относятся къ этому отдѣлу; потому что въ мягкой гармоніи мы имѣемъ одинъ тонъ, происходящій отъ вибраціи двухъ струнъ, тогда какъ въ острой—мы имѣемъ одновременно нѣсколько звуковъ отъ одной струны. Первая гармонія имѣетъ связь съ перебоями, о которыхъ мы уже говорили. Эти перебои могутъ слѣдовать такъ часто, что произведутъ особенный опредѣленный тонъ. Это открытіе приписываютъ обыкновенно Тартини, который упоминаетъ объ немъ въ 1754 г.; но объ немъ упоминалось еще раньше, въ сочиненіи Соржа «о Трубныхъ Органахъ» 1744 *). Въ немъ это открытіе выражено въ формѣ вопроса: «отчего происходитъ, что когда мы беремъ на органѣ 5 звуковъ (т. е. 2-й и 3-й), то 3-й тонъ едва слышенъ, а слышится октава втораго тона? Природа показываетъ, что при числахъ 2 и 3 она все-еще ищетъ единства и находитъ его въ совершенномъ порядкѣ 1, 2, 3.» А дѣло состоитъ въ томъ, что эти числа выражаютъ частоту вибрацій, и такимъ образомъ между тонами 2 и 3 будутъ совпаденія, частота которыхъ выразится 1; и слѣдовательно произойдетъ октава тона 2. Это объясненіе представлено Лагранжемъ, и оно очевидно **).

*) Chladni, *Acoust.* 254.

**) Mem. Tur. I, p. 104.

ГЛАВА V.

Проблема Звуковъ въ Трубахъ.

Люди, занимавшіеся изслѣдованіями о звукѣ, предполагали, что звуки флейтъ, органныхъ трубъ и вообще духовыхъ инструментовъ происходятъ отъ извѣстнаго рода вибрацій; но опредѣленіе свойствъ и законовъ этихъ вибрацій и приведеніе ихъ къ механическимъ принципамъ было дѣломъ далеко нелегкимъ. Главный фактъ, извѣстный относительно этого предмета, состоялъ въ томъ, что тонъ трубы пропорціоналенъ ея длинѣ, что флейта и другіе подобные инструменты могутъ производить острую гармонію вмѣстѣ съ главнымъ тономъ. Далѣе было показано *), что трубы, закрытыя на концѣ, вмѣсто того чтобы давать гармоническій рядъ 1, $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ и пр., даютъ только такіе тоны, которые соотвѣтствуютъ числамъ 1, $^1/_3$, $^1/_5$, и т. д. Первый шагъ къ рѣшенію этой проблемы сдѣланъ былъ Ньютономъ **).

*) D. Bernoulli, *Berlin. Mem.*, 1753, p. 150.

**) Princip. Schol. prop. 50.

Въ концѣ предложенія, которое занимается опредѣленіемъ скорости звука и о которомъ мы уже говорили, Ньютонъ замѣчаетъ, что изъ опытовъ Мерсенна и Совёра для опредѣленія числа качаній, соотвѣтствующихъ данному тону, повидимому слѣдуетъ, что во время каждой вибраціи пульсъ воздуха проходитъ дважды по длинѣ трубы. Онъ не разслѣдовалъ этого предмета опытнымъ образомъ, но только предполагалъ теоретически, что звукъ трубы состоитъ въ пульсахъ или вибраціяхъ, которые движутся взадъ и впередъ по длинѣ трубы и поддерживаются въ движеніи дутьемъ играющаго на ней. Такое предположеніе согласовалось съ доказанной опытомъ зависимостью тона отъ длины трубы. Но этотъ предметъ не былъ изслѣдованъ теоретическимъ путемъ до 1760 г., когда Лагранжъ во 2-мъ томѣ Туринскихъ Мемуаровъ и Д. Бернулли въ Мемуарахъ Французской Академіи за 1762 г. напечатали свои важныя изслѣдованія, въ которыхъ были удовлетворительно объяснены существенные факты и которыя можно такимъ образомъ считать рѣшеніемъ проблемы.

Въ этихъ рѣшеніяхъ были конечно и гипотетическія стороны. Относительно вибрирующихъ струнъ предполагалась гипотетически только Форма вибрирующей кривой; а существованіе и положеніе Узловъ сдѣлано видимымъ даже для простаго глаза. Въ вибраціяхъ же воздуха мы не можемъ видѣть ни мѣстъ узловъ, ни способа вибрацій; но зато здѣсь есть много явленій, которыя совершенно не зависятъ отъ этихъ обстоятельствъ. Такимъ образомъ напр. въ указанныхъ выше обоихъ теоретическихъ рѣшеніяхъ

удовлетворительно объясненъ фактъ, что труба, закрытая съ одного конца, даетъ унисонъ съ трубой вдвое длиннѣе ея, но только открытою. Въ нихъ же, при помощи предположенныхъ теоретически узловъ, объяснено существованіе гармоническаго ряда изъ нечетныхъ чиселъ 1, 3, 5 въ закрытыхъ трубахъ и существованіе полнаго ряда 1, 2, 3, 4, 5, въ открытыхъ трубахъ. Въ обоихъ рѣшеніяхъ были почти одинаковыя воззрѣнія на свойство вибрацій, хотя воззрѣнія Лагранжа высказаны были съ аналитической общностью, которая дѣлала ихъ трудно понятными, тогда какъ Бернулли далъ своимъ воззрѣніямъ болѣе частный характеръ, чѣмъ бы слѣдовало. Лагранжъ *) смотритъ на вибраціи въ открытыхъ трубахъ какъ на волнообразныя движенія фибръ воздуха, подъ условіемъ, что эластичность ихъ на обоихъ концахъ во время цѣлой вибраціи одинакова съ эластичностью окружающаго воздуха. Бернулли же предполагаетъ **), что вся инерція воздуха въ трубѣ собрана въ одинъ пунктъ, и что этотъ пунктъ приводится въ движеніе полнымъ количествомъ эластичности, происходящимъ отъ его перемѣщенія. Можно замѣтить, что оба эти способа воззрѣнія весьма близко подходятъ къ указанной уже теоріи Ньютона; потому что хотя Бернулли и предполагаетъ, что воздухъ, заключающійся въ трубѣ, движется вдругъ, а не послѣдовательно и постепенно, какъ въ пульсахъ Ньютона, однако, по обоимъ этимъ воззрѣніямъ, все количество эластичности движетъ весь воздухъ въ тру-

---

*) Mem. Turin. vol. II, p. 154.
**) Mem. Berlin., 1753, p. 446.



бѣ и требуетъ для этого извѣстнаго времени, пропорціональнаго количеству воздуха. Послѣ этого вопросу дано было дальнѣйшее математическое развитіе Эйлеромъ *), Ламбертомъ **) и Пуассономъ †); но не было представлено новаго объясненія фактовъ. Однако сдѣланы были попытки опредѣлить посредствомъ опытовъ мѣста узловъ. Бернулли показалъ, что мѣсто узловъ зависитъ отъ величины отверстія; и Ламбертъ ††) изслѣдовалъ другіе случаи этого явленія. Саваръ указалъ мѣсто узловъ въ различныхъ музыкальныхъ трубахъ и при различныхъ условіяхъ; и еще недавно Гопкинсъ въ Кембриджѣ занимался опытами надъ этими явленіями ***). Изъ его опытовъ слѣдовало, что прежнія предположенія математиковъ, относительно положенія узловъ, не вполнѣ подтверждаются фактами наблюденія. Когда воздухъ въ трубѣ заставляютъ вибрировать такъ, чтобы онъ имѣлъ много узловъ, дѣлящихъ его на равныя части, то ученые предполагали, что часть, прилежащая къ открытому концу трубы, была вдвое меньше другихъ частей. Но посредствомъ опытовъ было найдено, что самый крайній узелъ не находится на томъ мѣстѣ, какое ему указывается при этомъ предположеніи; но перемѣщается отъ него на разстояніе, зависящее отъ многихъ побочныхъ обстоятельствъ.

Такъ какъ мы имѣемъ въ виду разсматривать эту проблему только съ точки зрѣнія ея математическаго

*) Nov. act. Petrop. vol. XVI. **) Acad. Berlin. 1775.
***) Journ. de l'Ec. polyt., cap. XIV.
†) Acad. Berlin. 1775. ††) Camb. Trans. vol. V, p. 234.



рѣшенія, то мы и не будемъ говорить здѣсь о томъ, какое вліяніе имѣетъ на способъ и форму вибрацій причина, произведшая звукъ; и потому къ нашему предмету не относятся изслѣдованія, которыя старались опредѣлить вліяніе на звукъ устройства трубы, формы и приложенія къ ней губъ и т. под., и которыми занимались Хладни, Саваръ, Виллисъ и др. Легко понять, что сложное вліяніе эластичности и другихъ свойствъ трубы и воздуха есть проблема, на разрѣшеніе которой мы едвали можемъ надѣяться до тѣхъ поръ, пока наши познанія объ этомъ предметѣ значительно не подвинутся впередъ противъ настоящаго положенія.

Въ самомъ дѣлѣ, Акустика представляетъ громадную массу фактовъ, къ которымъ вполнѣ можетъ быть приложено только-что сдѣланное замѣчаніе; и если разсматривать ихъ каждый отдѣльно, то они представляются намъ частями одной обширной и еще не разрѣшенной проблемы.

ГЛАВА VI.

Проблема Различныхъ Способовъ и Формъ Вибраціи Тѣлъ вообще.

Не одни только предметы, о которыхъ мы до сихъ поръ говорили, т. е. струны и трубы, но почти всѣ тѣла способны къ звуковымъ вибраціямъ. Въ примѣръ мы можемъ указать между твердыми тѣлами на колокола, металлическія пластинки и камертоны, на барабаны разнаго рода съ натянутыми животными перепонками; когда мы мокрымъ пальцемъ станемъ тереть по краямъ стакана, то жидкость заключающаяся въ немъ тоже приходитъ въ вибрирующее движеніе. Различный характеръ, какой принимаютъ звуки, производимые въ различныхъ мѣстахъ, показываетъ, что воздухъ тоже способенъ къ своего рода вибраціямъ. Всѣ подобныя вибраціи вообще сопровождаются звукомъ; и потому мы можемъ смотрѣть на нихъ какъ на акустическія явленія, тѣмъ болѣе, что этотъ звукъ имѣетъ въ себѣ особенности, которыя указываютъ намъ на особенности въ способѣ и въ формѣ вибрацій. Кромѣ того, каждое тѣло этого рода можетъ вибрировать раз-

личнымъ способомъ, и вибрирующія части его отдѣляются одна отъ другой Узловыми Линіями, и составляютъ Поверхности, различныя по формѣ и по числу. Способъ вибраціи даннаго тѣла опредѣляется въ каждомъ случаѣ тѣмъ, какъ мы держимъ или прикрѣпимъ тѣло, какимъ способомъ приводимъ его въ вибрирующее движеніе, и другими подобными обстоятельствами.

Общая проблема такихъ вибрацій заключаетъ въ себѣ открытіе и классификацію этихъ явленій, установленіе ихъ формальныхъ законовъ и наконецъ объясненіе ихъ посредствомъ механическихъ принциповъ. Мы должны здѣсь только кратко сказать о томъ, что было сдѣлано до сихъ поръ наукой въ этихъ отношеніяхъ.

Факты, которые указываютъ на существованіе въ звучащихъ тѣлахъ узловыхъ линій, были замѣчены Галилеемъ, на резонансовыхъ доскахъ инструментовъ. Гукъ предложилъ наблюдать за вибраціями надъ колокольчикомъ, обсыпаннымъ мелкимъ пескомъ. Но Хладни, нѣмецкій физикъ, обогатилъ акустику открытіемъ множества разнообразныхъ симметрическихъ фигуръ Узловыхъ Линій, которыя рисуются на правильной формы пластинкахъ, когда онѣ издаютъ правильные звуки. Его первыя изслѣдованія объ этомъ предметѣ («Entdeckungen über die Theorie des Klangs») были напечатаны въ 1787 г.; а въ 1802 и 1817 онъ присоединилъ къ нимъ еще другія открытія. Въ этихъ сочиненіяхъ онъ не только представилъ большое количество новыхъ и любопытныхъ фактовъ, но и привелъ ихъ до нѣкоторой степени въ порядокъ и подвелъ подъ законы. Такъ напр. онъ раздѣлилъ всѣ вибраціи

четвероугольныхъ пластинокъ на классы соотвѣтственно узловымъ линіямъ, изъ которыхъ одни бываютъ параллельны къ одной сторонѣ пластинки, а другія къ другой; и на этомъ основаніи придумалъ методъ для обозначенія различныхъ способовъ вибрацій, совершающихся въ пластинкахъ. Такъ напр. 5—2 обозначаютъ форму, въ которой 5 Узловыхъ Линій параллельны къ одной сторонѣ пластинки, а двѣ къ другой. Саваръ занимался дальнѣйшими изслѣдованіями объ этомъ предметѣ и непосредственными опытами опредѣлилъ форму узловыхъ линій, которыя отдѣляютъ одну отъ другой поверхности твердыхъ тѣлъ, или массъ воздуха, находящихся въ вибраціи.

Зависимость вибрацій отъ ихъ физической причины, именно отъ эластичности вибрирующаго вещества, мы можемъ представить себѣ только въ общихъ чертахъ. Но математическое объясненіе такой зависимости, какъ можно себѣ представить, чрезвычайно трудно, даже если мы ограничимся только вопросомъ о механической возможности различныхъ способовъ вибрацій, оставляя въ сторонѣ опредѣленіе ихъ зависимости отъ способа ихъ возбужденія. Поперечныя вибраціа эластическихъ прутьевъ, пластинокъ и колецъ были вычисляемы Эйлеромъ въ 1779 г.; но его вычисленія относительно пластинокъ предсказали только малую долю любопытныхъ явленій, открытыхъ впослѣдствіи Хладни *); и его указаніе, что на основаніи его вычисленій одно и то же кольцо можетъ издавать многіе то-

*) Fischer, *Geschichte der Physik*, VI, 587.



ны, не подтвердилось опытомъ *). И въ самомъ дѣлѣ изслѣдованія такого рода, какія производилъ Эйлеръ и другіе **), скорѣе могутъ считаться примѣрами математическаго искусства, чѣмъ разъясненіями физическихъ явленій. Яковъ Бернулли по напечатаніи опытовъ Хладни въ 1787 г. пытался разрѣшить проблему вибрирующихъ пластинокъ, представляя каждую пластинку собраніемъ множества фибръ; но, какъ замѣчаетъ Хладни, справедливость такого предположенія была опровергнута несогласіемъ результатовъ его съ опытами.

Французскій Институтъ, увѣнчавшій преміей труды Хладни, предложилъ въ 1809 г. на премію проблему †): «составить математическую теорію вибрацій эластическихъ поверхностей и сравнить ее съ опытомъ.» Только одинъ мемуаръ явился на соисканіе этой преміи; но и онъ не получилъ преміи, а удостоился только почетнаго отзыва ††). Формулы Якова Бернулли, по свидѣтельству Пуассона, недостаточны вслѣдствіе того, что онъ не принялъ въ соображеніе нормальной силы, которая дѣйствуетъ на внѣшнихъ границахъ пластинки ***). Авторъ анонимнаго мемуара, представленнаго на премію, исправилъ эту ошибку и вычислилъ тонъ, соотвѣтствующій различнымъ фигурамъ узловыхъ линій; и онъ нашелъ согласіе этихъ вычисленій съ опытомъ, подтверждавшее до нѣкоторой степени его те-

*) Ibid. VI, 596. **) Chladni, p. 474.

†) Chladni, 357.

††) Poisson, *Mem. in Ac. S.* 1812, p. 162.

***) Ibid., p. 220.

орію. Однако онъ не доказалъ своего основнаго уравненія, которое было доказано Пуассономъ въ мемуарѣ, читанномъ въ 1814 г. *). Впослѣдствіи Пуассонъ и Коши, также какъ и ученая m-lle Софи Жерменъ, прилагали къ этой проблемѣ улучшенные способы высшаго математическаго анализа. Пуассонъ **) опредѣлилъ отношенія между тонами, которые производятся продольными и поперечными вибраціями эластическаго прута; и разрѣшилъ проблему вибрирующихъ пластинокъ, когда узловыя линіи составляютъ на нихъ концентрическіе круги. Въ обоихъ случаяхъ числовое согласіе его результатовъ съ опытами подтверждало справедливость его основныхъ воззрѣній †). Онъ исходилъ изъ той гипотезы, что эластическія тѣла состоятъ изъ отдѣльныхъ частицъ, держащихся вмѣстѣ притягательными силами, которыя они обнаруживаютъ одна на другую, и удаляющимися одна отъ другой, отъ вліянія отталкивательной силы тепла. Коши ††) вычислилъ такимъ же образомъ поперечныя продольныя и круговыя вибраціи эластическихъ прутьевъ и получилъ результаты, согласующіеся съ опытомъ въ большомъ числѣ сравненныхъ случаевъ. Соединенный авторитетъ такихъ двухъ глубокихъ математиковъ, какъ Пуассонъ и Коши, заставляетъ насъ вѣрить, что относительно простыхъ случаевъ вибрацій эластическихъ тѣлъ, математика уже сдѣлала свое дѣло; но многіе болѣе сложные случаи вибрацій еще ждутъ ея рѣшенія.

*) Ibid. 1812, p. 2. **) Ibid. t. VIII, 1829.

†) Ann. de Chem. t. XXXVI, 1827, p. 90.

††) Exercices de Mathematique, III, IV.

Братья Эрнестъ и Вильгельмъ Веберы сдѣлали много любопытныхъ наблюденій надъ волнообразными движеніями, изложенныхъ въ ихъ сочиненіи «Wellenlehre» (ученіе о Волнахъ), напечатанномъ въ Лейпцигѣ въ 1825 г. Они дошли до предположенія (которое еще раньше высказано было Юнгомъ), что Хладніевы фигуры узловыхъ линій на эластическихъ пластинкахъ могутъ быть объяснены перекрещиваніемъ волнъ *). Уитстонъ объяснялъ Хладніевы фигуры на вибрирующихъ квадратныхъ пластинкахъ перекрещиваніемъ двухъ или болѣе простыхъ весьма возможныхъ узловыхъ дѣленій, которыя всѣ имѣютъ равныя времена вибрацій. Для этой цѣли онъ предполагаетъ извѣстныя «первоначальныя фигуры», заключающія въ себѣ только параллельныя узловыя линіи, и, соединяя ихъ сначала по двѣ, а потомъ по четыре, онъ получаетъ большую часть фигуръ Хладни и вмѣстѣ съ тѣмъ объясняетъ ихъ переходы, перекрещиванія и уклоненія отъ правильнаго вида.

Принципъ перекрещиванія вибрацій доказанъ, какъ механическая истина, такъ твердо, что мы могли бы всякую акустическую проблему считать удовлетворительно разрѣшенной, еслибы она была подведена подъ этотъ принципъ; потому что подведеніе ея подъ этотъ принципъ равнялось бы ея разрѣшенію аналитической механикой. Но при этомъ должно помнить, что надлежащее примѣненіе и ограниченіе этого закона представляетъ не малыя трудности. Въ этомъ случаѣ, какъ во всѣхъ другихъ успѣхахъ физическихъ наукъ, нужно только желать, чтобы на эту новую пріобрѣтен-

*) Wellenlehre, p 474.



ную почву выступили другіе люди съ другими способами, и такимъ образомъ утвердили бы за нами вѣчное владѣніе ею.

Законы Савара.—Во всѣхъ упомянутыхъ изслѣдованіяхъ вибраціи тѣлъ подводились подъ извѣстные общіе классы, которые указывались наблюденіемъ; напр. вибраціи прута дѣлились на поперечныя, продольныя и круговыя. Поперечныя вибраціи, въ которыхъ частицы прута движутся взадъ и впередъ или вверхъ и внизъ въ отвѣсномъ направленіи отъ его продольной линіи, долгое время только одни и были извѣстны въ акустикѣ; другаго рода вибраціи разъяснены большей частью Хладни. Какъ мы уже видѣли на предшествовавшихъ страницахъ, эта классификація вибрацій послужила къ открытію нѣкоторыхъ важныхъ законовъ, напр. закона Пуассона объ отношеніи между тонами, производимыми поперечными и продольными вибраціями прута. Эта же классификація помогла Савару при отысканіи еще болѣе общихъ законовъ; но затѣмъ, какъ это часто бываетъ въ исторіи прогресса науки, при возведеніи этихъ законовъ на высшую степень обобщенія, классификація оказалась ненужной и различіе между различными родами вибрацій почти исчезло. Нѣсколько словъ объяснятъ это достаточно.

Уже давно было извѣстно, что вибраціи тѣлъ могутъ передаваться чрезъ непосредственное соприкосновеніе съ другими тѣлами. Затѣмъ, когда установлено было различіе между поперечными и продольными вибраціями, Саваръ нашелъ, что если одинъ прутъ касается перпендикулярно другаго, топродольныя вибраціи перваго производятъ поперечныя вибраціи во вто-

ромъ, и наоборотъ. Это тѣмъ болѣе замѣчательно, что два рода вибрацій не равны между собой по скорости, и такимъ образомъ не могутъ совпадать вмѣстѣ никакимъ очевиднымъ для насъ способомъ *). Саваръ нашелъ возможность обобщить это положеніе и утверждалъ, что при всякомъ соприкосновеніи прутьевъ, струнъ и пластинокъ подъ прямымъ угломъ, продольныя и поперечныя вибраціи въ одномъ изъ этихъ тѣлъ вызываютъ соотвѣтственно противоположныя имъ вибраціи въ другомъ **), такъ что если, напримѣръ, горизонтальный прутъ вибрируетъ въ одномъ направленіи, то вертикальный, при соприкосновеніи, начинаетъ вибрировать въ другомъ.

Въ этомъ видѣ законъ выражается терминами, заимствованными отъ той классификаціи вибрацій, о которой мы уже говорили. Но легко замѣтить, что онъ можетъ быть выраженъ въ болѣе общей формѣ безъ всякаго отношенія къ классификаціи, именно такимъ образомъ: вибраціи всегда передаются въ направленіи параллельномъ ихъ первоначальному направленію. Развивая далѣе это положеніе посредствомъ опытовъ, Саваръ пришелъ къ заключенію, что нѣтъ никакого существеннаго различія между указанными тремя родами вибрацій. «Такимъ образомъ», говоритъ онъ †) въ 1822 г., «мы можемъ считать нормальныя (поперечныя) вибраціи просто за частный случай болѣе общаго и свойственнаго всѣмъ тѣламъ движенія; тоже

*) Anales de Chim. 1819. t. XVI, p. 138.
**) Ibid., p. 152.
†) Ann. d. Chim. t. XXV, p. 33.



самое можно сказать и о продольныхъ и круговыхъ вибраціяхъ, т. е. что всѣ онѣ происходятъ отъ малыхъ молекулярныхъ качаній, видоизмѣняемыхъ вслѣдствіе различнаго направленія, какое принимаютъ относительно размѣровъ вибрирующаго тѣла внѣшнія, дѣйствующія на него вліянія.»

Эта «индукція», какъ онъ самъ справедливо называетъ ее, подтверждается большимъ количествомъ остроумныхъ опытовъ, и ее можно считать вполнѣ доказанной, если ее примѣнять только къ молекулярнымъ качаніямъ, употребляя это слово въ вышеуказанномъ смыслѣ, и ограничить ея примѣненіе только тѣми тѣлами, въ которыхъ дѣйствіе эластичности не прерывается посторонними болѣе твердыми тѣлами, какъ напр. душкой въ скрипкѣ *).

Прежде чѣмъ оставить этотъ предметъ, я укажу еще на заключеніе, которое Саваръ вывелъ изъ этихъ своихъ воззрѣній и которое повидимому разрушаетъ большую часть прежнихъ ученій о звукѣ. Именно прежде утверждали, что натянутыя струны и эластическіе прутья могутъ вибрировать въ опредѣленныхъ и неизмѣнныхъ рядахъ узловъ и узловыхъ линій. Саваръ же напротивъ утверждаетъ, что эти вибраціи тѣлъ могутъ производить тоны, которые постепенно переходятъ одинъ въ другой посредствомъ безконечно малыхъ промежуточныхъ ступеней **). Читатель естественно можетъ спросить, чѣмъ же при-

*) Мыслью о необходимости такого ограниченія я обязанъ Виллису.

**) Ann. Chim. 1826. t. XXXII, p. 384.



мирить это видимое противорѣчіе между прежнимъ ученіемъ о звукѣ и этимъ новымъ? Отвѣтъ на это тотъ, что эти посредствующіе способы вибрацій чрезвычайно сложны и трудно представимы, а тѣ роды вибрацій, которые прежде считались единственно возможными, столько отличаются отъ нихъ какъ своей простотой, такъ и легкостью и удобствомъ ихъ представленія, что мы можемъ для обыкновенныхъ цѣлей считать ихъ за особый классъ вибрацій, хотя для составленія общей теоремы мы должны еще присоединять къ нимъ массу общихъ молекулярныхъ качаній. И такимъ образомъ прежде высказанное нами правило и здѣсь, какъ и во всѣхъ другихъ случаяхъ прогресса нашихъ познаній, не имѣетъ исключеній, именно то правило, что то, что̀ прежде составляло въ наукѣ часть ея открытій, впослѣдствіи составляетъ часть и въ ея системахъ.

Такимъ образомъ мы довели до новѣйшихъ временъ исторію прогресса науки о звукѣ въ томъ, что касалось открытія законовъ явленій и подведенія ихъ подъ математическій принципъ. Первый отдѣлъ науки по необходимости разработывался индуктивно и такимъ образомъ былъ по преимуществу предметомъ нашего вниманія. Это же соображеніе объяснитъ читателю, почему мы не останавливаемся на дедуктивныхъ трудахъ великихъ математиковъ, занимавшихся теоретической стороной.

Тѣмъ, кому извѣстна высокая и вполнѣ заслуженная слава, которой пользуются между математиками труды объ этомъ предметѣ Эйлера, д'Аламбера, Лагранжа и другихъ, можетъ показаться, что мы въ нашемъ

очеркѣ не даемъ этимъ трудамъ должнаго мѣста. Поэтому мы напомнимъ здѣсь замѣчаніе, которое мы уже сдѣлали, излагая исторію Гидродинамики, что когда установлены общіе принципы науки, то математическіе выводы изъ нихъ уже не относятся къ исторіи физической науки, исключая тѣхъ случаевъ, когда эти выводы ведутъ къ открытію новыхъ законовъ, посредствующихъ между общимъ принципомъ и частными явленіями и подтверждающихся наблюденіями.

Дѣло построенія науки можетъ быть сравнено съ проложеніемъ дороги, по которой нашъ умъ можетъ проходить черезъ извѣстную область внѣшняго міра. Мы должны имѣть мостъ, который бы велъ насъ отъ нашихъ мыслей, отъ нашихъ отвлеченныхъ принциповъ къ отдаленнымъ берегамъ матеріальныхъ фактовъ и явленій. Но пропасть, отдѣляющая насъ отъ нихъ, такъ велика, что мы не можемъ перекинуть черезъ нее мостъ, пока не найдемъ какихъ-нибудь промежуточныхъ точекъ, на которыхъ могла бы опираться постройка моста. Одни факты безъ всякой связи и закона суть только грубые камни, оторванные отъ противоположнаго берега, на которые нельзя прочно оперетъ арокъ нашего моста. Но и одни гипотетическія, математическія вычисленія суть только проекты и планы будущихъ построекъ, планы, которые относятся только къ единственной дугѣ этого будущаго моста, съ одной стороны висящей на воздухѣ, а съ другой опирающейся только на идеи и гипотезы, которымъ нѣтъ соотвѣтствія въ дѣйствительности. Мы должны имѣть твердую опору изъ промежуточныхъ обобщеній для

того, чтобы выстроить на нихъ непрерывное и прочное зданіе.

Относительно предмета, занимающаго насъ теперь, мы уже имѣемъ такія промежуточныя опоры, хотя онѣ во многихъ случаяхъ распредѣлены неправильно и представляются неясно. Число полученныхъ наблюденіемъ законовъ и отношеній явленій звука уже весьма велико; и нѣтъ никакого основанія отчаяваться въ томъ, что въ будущемъ, хотя можетъ быть и очень отдаленномъ, эти явленія объединятся ясной идеей механической причинности и Акустика такимъ образомъ сдѣлается настоящей вторичной механической наукой.

Представленный здѣсь историческій очеркъ заключаетъ въ себѣ только тѣ части акустики, которыя хотя до нѣкоторой степени подведены подъ общіе законы и подъ физическія причины; и изъ него такимъ образомъ исключено все, что обыкновенно вносится въ акустику. Изъ него исключены также вычисленія, объясняющія пріятныя дѣйствія звуковъ на наше ухо, каковы напр., ученіе о созвучіяхъ, диссонансахъ, о различныхъ гаммахъ и пр. Эти предметы составляютъ часть Теоретической Музыки, а не Акустики, относятся къ Философіи Изящныхъ Искусствъ, а не къ Физическимъ Наукамъ; и насколько они относятся къ нашему предмету, будутъ изложены въ дальнѣйшей части этого сочиненія.

Акустика занимается также и другими различіями звуковъ, кромѣ ихъ высоты и низкости, напримѣръ различіями членораздѣльныхъ звуковъ, которыми отличаются различныя буквы языка. Въ приведеніи этого отдѣла предмета къ общимъ правиламъ уже сдѣланъ

нѣкоторый прогрессъ; потому что хотя говорящая машина Кемпелéна есть только дѣло искусства; но машина Виллиса, которая разъясняетъ намъ отношенія между гласными звуками, даетъ намъ такіе законы, какіе составляютъ шагъ впередъ въ наукѣ. Кромѣ того мы можемъ смотрѣть на этотъ послѣдній инструментъ какъ на Фтонгометръ, или измѣритель гласныхъ; и съ этой точки зрѣнія мы будемъ разсматривать его, когда будемъ говорить объ измѣреніяхъ этого рода *).

(3-е изд.) *Скорость Звука въ Водѣ.*—Наука, исторію которой мы изложили въ этой книгѣ, имѣетъ своимъ предметомъ малыя вибраціи частичекъ тѣлъ, производящія звукъ, и самое свойство звука. Вибраціи тѣлъ составляютъ результатъ извѣстнаго напряженія въ ихъ структурѣ, которое мы называемъ Эластичностью. Эластичность опредѣляетъ собою частоту Вибрацій, а отъ частоты вибрацій зависитъ слышимый тонъ; такимъ образомъ эластичность опредѣляетъ скорость, съ которою распространяется вибрація, по тому или другому тѣлу. Эти качества, т. е. Эластичность, Частота Вибрацій, Скорость Распространенія, Слышимая Нота находятся въ зависимости одно отъ другаго въ каждомъ веществѣ и бываютъ различны въ различныхъ веществахъ.

Въ исторіи этой науки, стремившейся къ удовле-

---

*) On the Vowel Sounds and on Reed Organ-Pipes. Camb. Trans. III, 237.



творительной общей теоріи, проблемы, возникавшія сами собой, состояли въ томъ, чтобы объяснить свойства Звука свойствами производящихъ его вибрацій, а существованіе вибрацій объяснить эластичностью веществъ, въ которыхъ онѣ происходятъ; подобно тому какъ въ Оптикѣ естествоиспытатели сначала объяснили явленіе свѣта и цвѣтовъ посредствомъ Теоріи Волнообразныхъ Движеній и потомъ уже объясняли эти движенія эластичностью ѳеира. Но **Волнообразная Теорія Звука** считалась вѣрною уже въ самые ранніе періоды акустики; а объясненіе всѣхъ родовъ звуковыхъ волнообразныхъ движеній эластичностью вибрирующихъ веществъ было задачей, которую рѣшили математики, упомянутые нами въ текстѣ. Такимъ образомъ упомянутыя нами качества, которыми опредѣляется звукъ, не только поставлены были въ зависимость; но и самая зависимость была опредѣлена, и такимъ образомъ возможно было посредствомъ одного качества опредѣлить другія; напр. посредствомъ тона можно опредѣлить скорость звука и эластичность вибрирующаго вещества.

Хладни *) и Веберы **) сдѣлали много важныхъ опытныхъ изслѣдованій объ этомъ предметѣ, который былъ разработанъ еще болѣе Вертгеймомъ посредствомъ его тщательныхъ и остроумныхъ опытовъ †). Такъ напр. Вертгеймъ опредѣлилъ скорость, съ какою звукъ распространяется въ водѣ, заставляя органную трубку издавать звукъ въ водѣ. Этотъ опытъ представлялъ

---

*) Traité d'Acoustique, 1809. **) Wellenlehre 1852.
†) Memoires de Physique Mécanique, Paris 1848.



нѣкоторыя трудности; потому что отверстіе трубы, въ которую дуютъ, если его не устроитъ надлежащимъ и тщательнымъ образомъ, даетъ свои собственные звуки, которые нельзя считать такимъ образомъ настоящими музыкальными тонами трубы. И хотя тонъ зависитъ только отъ длины трубы, но въ нѣкоторой степени онъ зависитъ также отъ ширины трубы и отъ величины отверстія, въ которое дуютъ.

Еслибы трубка была только линіей, то время вибраціи соотвѣтствовало бы времени, въ которое вибрація проходитъ отъ одного конца трубки до другаго. Такимъ образомъ тонъ при данной длинѣ, которая опредѣляется временемъ вибраціи, связанъ со скоростью или быстротой вибраціи. На основаніи этихъ соображеній онъ нашелъ, что скорость вибраціи въ трубкѣ съ морской водой составляетъ 1157 метровъ въ секунду.

Но Вертгеймъ замѣтилъ, какъ онъ и предполагалъ сначала по общимъ математическимъ соображеніямъ, что скорость, съ которой звукъ распространяется въ безграничной массѣ какого-нибудь вещества, относится къ скорости, съ какой онъ распространяется по трубкѣ или вообще по линейной полосѣ того же вещества, какъ квадратный корень изъ 3 къ квадратному корню изъ 2. Поэтому скорость звука въ морской водѣ составитъ 1454 метра въ секунду, а скорость звука въ воздухѣ 332 метра.

Вертгеймъ употреблялъ вибраціи стальныхъ или другихъ металлическихъ прутьевъ для того, чтобы посредствомъ этихъ вибрацій опредѣлить модуль эластичности, т. е. количество, на какое данное веще-

ство, въ силу своей эластичности, можетъ быть сжато или расширено опредѣленнымъ даннымъ давленіемъ или растяженіемъ. Для этой цѣли онъ извлекалъ звукъ изъ прута и камертона и устраивалъ такъ, что какъ прутъ, такъ и камертонъ своими вибраціями чертили волнистую кривую на вращающемся подлѣ нихъ кругѣ. Начерченныя тѣмъ и другимъ линіи были сравнены, и относительная величина ихъ опредѣляла такимъ образомъ эластичность веществъ, изъ которыхъ сдѣланы прутъ и камертонъ.

КНИГА IX.

ВТОРИЧНЫЯ

МЕХАНИЧЕСКІЯ НАУКИ

(ПРОДОЛЖЕНІЕ).

ИСТОРІЯ

ФОРМАЛЬНОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ.

Ω Διὸς ὑψιμέλαθρον ἔχων κράτος αἰὲν ἀτειρὲς
Ἄστρων, Ἡλίου τε, Σεληναίης τε μέρισμα
Πανδαμάτωρ, πυρίπνου, πᾶσιν ζωοῖσιν ἔναυσμα
Ὑψιφάνης ΑΙΘΗΡ, *κόσμου στοιχεῖον, ἄριστον*
Ἀγλαὸν ὦ βλάστημα, σελασφόρον, ἀστεροφεγγὲς
Κικλήσκον λίτομαί σε, κεκραμένον εὔδιον εἶναι.

Orpheus. Hymn.

О ты, наполняющій высокое жилище Зевса, обладающій звѣздами, солнцемъ и луной, дающій жизнь всему живущему, дышущій огнемъ, сіяющій Эѳиръ, стихія міра, прекрасный, свѣтоносный, блестящій звѣздами источникъ, я преклоняюсь передъ твоей властью.

ВВЕДЕНІЕ.

Формальная и Физическая Оптика.

Исторія Оптики, еслибы ее излагать подробно, могла бы составить нѣсколько томовъ; но наша исторія будетъ не такова, потому что наша цѣль состоитъ только въ томъ, чтобы разъяснить сущность этой науки и условія ея прогресса. Въ этомъ отношеніи исторія оптики особенно поучительна, тѣмъ болѣе, что она во многихъ отношеніяхъ не походитъ на исторію двухъ наукъ выше изложенныхъ нами. Астрономія, какъ мы видѣли, смѣло и постоянно подвигалась впередъ отъ одного обобщенія къ другому съ самыхъ древнихъ временъ до тѣхъ поръ, пока ея ходъ не былъ увѣнчанъ великимъ и неожиданнымъ открытіемъ Ньютона. Акустика уже съ самаго начала достигла высшаго обобщенія своихъ взглядовъ и исторія ея состояла только въ точномъ приложеніи ихъ къ послѣдовательно возникавшимъ проблемамъ. Оптика шла впередъ по ступенямъ обобщеній, столь же замѣчательныхъ, какъ и обобщенія Астрономіи; но долгое время она оставалась почти неподвижною, и наконецъ быстро была двинута впередъ и доведена до

настоящаго положенія энергіей двухъ или трехъ великихъ умовъ. Высшая степень обобщенія, до которой дошла Оптика, нѣсколько отлична отъ того обобщенія, которое съ самаго начала утвердилось въ акустикѣ; но въ этой старѣйшей наукѣ мы не видѣли того поразительнаго и осязательнаго подтвержденія общаго принципа, какое дали для теоріи волнообразныхъ движеній оптическія явленія. Астрономія пріобрѣла свое громадное состояніе долгимъ трудомъ и прилежаніемъ; Оптика же пріобрѣла свое состояніе въ нѣсколько лѣтъ остроумными и удавшимися спекуляціями, между тѣмъ какъ Акустика, богатая уже издавна, занималась больше улучшеніемъ и украшеніемъ, чѣмъ увеличеніемъ своего состоянія.

Послѣдовательныя индукціи, посредствомъ которыхъ Оптика подвигалась впередъ, могутъ быть разсматриваемы такимъ же способомъ, какъ и индукціи астрономіи; и онѣ также имѣли свои приготовительные періоды и свои послѣдствія. Но открытія оптики имѣютъ менѣе обширный характеръ и менѣе привлекали на себя общее вниманіе чѣмъ открытія астрономіи; и намъ нѣтъ надобности излагать ихъ подробно, пока мы не дойдемъ до великаго обобщенія, на которомъ установилась теорія науки. Такимъ образомъ я долженъ быстро обозрѣть прежнія оптическія открытія, не излагая каждаго изъ нихъ въ особенномъ отдѣлѣ.

Оптика, подобно астрономіи, имѣетъ своимъ предметомъ изслѣдованіе сначала законовъ явленій, а потомъ причинъ ихъ; потому и эту науку, подобно прочимъ, мы можемъ раздѣлить на Формальную Оптику и Физическую Оптику. Такое различіе весьма

ясно и существенно; но его не легко выдержать вездѣ въ нашемъ разсказѣ. Потому что какъ только теорія оптики стала дѣлать быстрые успѣхи, многіе законы явленій были изучаемы и открываемы въ непосредственной связи ихъ съ теоретическими причинами; и потому они не занимаютъ отдѣльнаго мѣста въ исторіи науки, какъ это было въ Астрономіи. Кромѣ того причина, почему Формальная Астрономія была уже почти вполнѣ закончена прежде, чѣмъ начала свое существованіе Астрономія Физическая, заключалась въ томъ, что сначала необходимо было развитіе Механики для того, чтобы Физическая Астрономія могла двинуться впередъ; между тѣмъ какъ относительно Оптики математики имѣли уже средства вычислить результаты волнообразной теоріи тотчасъ же, какъ она возникла почти сама собой изъ прежде извѣстныхъ фактовъ, и могли прилагаться и вычисленія къ массѣ фактовъ, которые въ то самое время открывались.

Такимъ образомъ въ первыхъ девяти главахъ Исторіи Оптики мы будемъ говорить только о Формальной Оптикѣ, т. е. объ открытіи законовъ явленій. Классы явленій, которые подлежатъ нашему вниманію, многочисленны; именно отраженіе, рефракція или преломленіе, хроматическое разсѣяніе, ахроматизація, двойное преломленіе, поляризація, двойная поляризація, цвѣта тонкихъ пластинокъ, цвѣта толстыхъ пластинокъ, явленія тѣней, полутѣней и отсвѣтъ. Всѣ эти явленія были уже изучены, и законы ихъ большей частью открыты еще прежде, чѣмъ физическая теорія дала нашимъ знаніямъ объ этомъ предметѣ простѣйшую и болѣе твердую форму.

ФОРМАЛЬНАЯ ОПТИКА.

ГЛАВА I.

Первоначальная Индукція Оптики.—Лучи Свѣта и Законы Отраженія.

Излагая исторію древней физики, мы уже показали, что оптики древности довольствовались тѣмъ понятіемъ, что зрѣніе совершается по прямымъ линіямъ. Они обратили свое вниманіе на эти прямыя линіи или лучи и считали ихъ настоящимъ предметомъ науки. Они даже замѣтили, что лучи отражаются отъ блестящей поверхности подъ угломъ отраженія равнымъ углу паденія, и изъ этого принципа вывели много заключеній.

Къ этимъ заключеніямъ, уже упомянутымъ нами, мы можемъ еще прибавить искусство перспективы, которое есть только слѣдствіе изученія прямолинейности видимыхъ лучей; потому что если мы предположимъ, что внѣшніе предметы рисуются своими прямыми лучами на плоскости между ними и нашимъ

глазомъ, то изъ этого вытекутъ всѣ правила перспективы. Древніе знали это искусство перспективы, какъ мы можемъ видѣть это по ихъ картинамъ, сохранившимся до насъ; а отъ Витрувія мы знаемъ *), что они имѣли даже сочиненія объ этомъ предметѣ. Агатархъ, который научился отъ Эсхила дѣлать декораціи для театра, былъ первымъ писателемъ объ этомъ предметѣ; и Анаксагоръ, бывшій ученикомъ Агатарха, также писалъ объ Актинографіи или линейной живописи. Но ни одно изъ этихъ сочиненій не дошло до насъ. Новые народы въ другой разъ изобрѣли это искусство въ цвѣтущее время живописи около конца XV столѣтія; и изъ этого періода мы имѣемъ трактаты о перспективѣ **).

Но все это было только дедуктивнымъ приложеніемъ самыхъ элементарныхъ ученій оптики; поэтому мы сейчасъ же переходимъ къ индукціямъ, посредствомъ которыхъ были сдѣланы дальнѣйшія открытія.

---

*) De architectura IX. Montucla, *Hist. des Math.* I, 707.

**) Gauricus, 1504.

ГЛАВА II.

Открытіе Закона Рефракціи или Преломленія.

Мы уже видѣли въ первой части нашей исторіи, что Греки имѣли довольно ясное понятіе о рефракціи или преломленіи, также какъ и объ отраженіи лучей свѣта, и что Птолемей опредѣлялъ величину преломленія въ стеклѣ и водѣ различными углами. Если мы назовемъ угломъ паденія тотъ уголъ, который образуетъ лучъ свѣта съ перпендикулярной линіей къ поверхности стекла или воды, или же всякой другой среды внѣ этой среды, а угломъ преломленія—тотъ уголъ, который образуется лучемъ свѣта съ тѣмъ же перпендикуляромъ, но только уже въ самой средѣ: то по ученію Птолемея выходитъ, что уголъ преломленія всегда нѣсколько меньше угла паденія. Онъ предполагалъ, что уголъ преломленія меньше въ извѣстной опредѣленной пропорціи; но это мнѣніе ложно, и было впослѣдствіи основательно опровергнуто арабскимъ математикомъ Альгазеномъ. Оптическія воззрѣнія, встрѣчающіяся въ сочиненіи Альгазена, гораздо основательнѣе воззрѣній его предшественниковъ, и самое

сочиненіе можетъ считаться однимъ изъ важнѣйшихъ памятниковъ ученаго генія Арабовъ, потому что свои воззрѣнія онъ не заимствовалъ отъ греческихъ авторитетовъ. Альгазенъ утверждаетъ (lib. VII), что преломленіе совершается по направленію къ перпендикуляру, и въ доказательство ссылается на опытъ; что величина преломленія бываетъ различна, смотря по величинѣ угла, который образуетъ направленіе падающаго луча съ перпендикуляромъ къ поверхности преломляющей среды; и при этомъ прямо и рѣшительно говоритъ, что уголъ преломленія не пропорціоналенъ углу паденія.

(2-е изд.) [Есть много основаній согласиться съ издателемъ Альгазена Риснеромъ, что Альгазенъ свое ученіе не заимствовалъ отъ кого-нибудь, а самостоятельно дошелъ до него. Кромѣ ученія объ отраженіи и преломленіи свѣта, арабскій ученый представляетъ еще описаніе глаза. Онъ различаетъ въ глазѣ три жидкости: humor aqueus (водянистая), crystallinus (кристаллическая) и vitreus (стекловидная) и четыре оболочки: tunica adherens (обволакивающая), cornea (роговая), uvea (радужная) и tunica reti similis (похожая на сѣтку). Также онъ различаетъ три рода зрѣнія: visibile percipitur aut solo viso, aut visu et syllogismo, aut visu et anticipata notione (видимое воспринимается или однимъ только зрѣніемъ, или зрѣніемъ и соображеніемъ, или зрѣніемъ и напередъ составленнымъ понятіемъ). Кромѣ того у него много положеній относительно того, что мы называемъ иногда Философіей Зрѣнія, въ родѣ слѣдующаго: E visibili saepius

viso remanet in anima generalis notio, — изъ часто видимаго въ душѣ остается общее понятіе и т. под.].

Замѣчаніе, что уголъ преломленія не пропорціоналенъ углу паденія, было въ высшей степени важно. И послѣ того, какъ оно прочно установилось, дальнѣйшій шагъ относительно рефракціи состоялъ въ томъ, чтобы дѣлать опыты и наблюденія до тѣхъ поръ, пока не найдется истинный законъ преломленія, и открытый законъ прилагать къ явленіямъ. Альгазенъ хотя и дѣлаетъ нѣкоторыя указанія относительно опытныхъ измѣреній рефракціи, не даетъ однакоже таблицы результатовъ такихъ опытовъ, какъ сдѣлалъ это Птолемей. Вителло, полякъ, издавшій въ XIII столѣтіи большое сочиненіе объ оптикѣ, представилъ въ немъ таблицу измѣреній угловъ преломленій, и увѣряетъ, что эта таблица составлена на основаніи опытовъ, какъ я уже сказалъ объ этомъ выше (томъ I). Но это увѣреніе подлежитъ сомнѣнію; потому что въ таблицѣ находятся невозможные результаты опытовъ.

(2-е изд.) [Какъ я уже сказалъ, Вителло увѣряетъ, что его таблицы составлены на основаніи его собственныхъ наблюденій. Ихъ согласіе съ таблицами Птолемея ничего не говоритъ противъ этого; потому что такъ какъ его наблюденія производились съ точностью только половины градуса, то и невозможно было большое разногласіе между ними и измѣреніями Птолемея. Можетъ быть даже, что онъ и дѣйствительно дѣлалъ самъ опыты надъ преломленіемъ при переходѣ луча изъ воздуха въ воду и стекло, и изъ воды въ стекло; тѣ же невозможные результаты, которые сообщаетъ онъ о преломленіи луча при переходѣ изъ воды и

стекла въ воздухъ и изъ стекла въ воду были имъ только вычислены не правильно на основаніи какихъ-нибудь ошибочныхъ пріемовъ).

Тотъ принципъ, что лучъ, преломленный въ стеклѣ или водѣ, приближается къ перпендикуляру, хотя и не опредѣлялъ точнаго закона преломленія, однако давалъ математикамъ возможность опредѣлить дѣйствія прозрачныхъ тѣлъ въ различныхъ случаяхъ. Такъ напр. въ сочиненіяхъ Рожера Бакона мы находимъ довольно отчетливое объясненіе дѣйствій выпуклаго стекла, а въ сочиненіи Вителло ясно представлены дѣйствія преломленія на двухъ поверхностяхъ стекляннаго шара.

Несмотря на опроверженіе Альгазена, многіе математики все-еще твердо держались того мнѣнія, что уголъ преломленія пропорціоналенъ углу паденія. Но когда Кеплеръ обратилъ вниманіе на этотъ предметъ, то онъ тотчасъ же замѣтилъ, что это мнѣніе не согласно даже съ опытами Вителло относительно большихъ угловъ преломленія; и его собственные опыты привели его къ заключенію, что истинный законъ преломленія долженъ быть нѣсколько отличенъ отъ того, какой обыкновенно предполагаютъ. Открытіе этого вѣрнаго закона возбуждало въ немъ сильное любопытство, и интересовало его тѣмъ болѣе, что онъ хотѣлъ сдѣлать поправки на основаніи атмосферическаго преломленія въ астрономическихъ вычисленіяхъ, сдѣланныхъ Тихо; изобрѣтеніе телескопа также усиливало этотъ интересъ. Въ своемъ «дополненіи» къ оптикѣ Вителло, напечатанномъ въ 1604 г., Кеплеръ старался найти какой-нибудь законъ въ измѣренныхъ имъ величинахъ преломленія. Мы уже говорили о томъ,

какимъ образомъ Кеплеръ пытался найти какой-нибудь законъ въ астрономическихъ наблюденіяхъ Тихо, какъ онъ составлялъ безчисленное множество гипотезъ и формулъ и съ неутомимымъ терпѣніемъ выводилъ и разсматривалъ всѣ ихъ слѣдствія и какъ охотно разсказывалъ своимъ читателямъ о всѣхъ своихъ надеждахъ и разочарованіяхъ во время этой работы. Почти такимъ же способомъ онъ поступилъ и съ Таблицами Преломленія, составленными по наблюденіямъ Вителло. Онъ сдѣлалъ множество построеній изъ треугольниковъ, круговъ и коническихъ сѣченій; но всѣ они не удовлетворяли его, такъ что онъ наконецъ принужденъ былъ довольствоваться только приблизительнымъ правиломъ, по которому преломленіе отчасти пропорціонально углу паденія, а отчасти сѣкущей этого угла *). Этимъ способомъ онъ получалъ соотвѣтствіе между наблюдаемымъ преломленіемъ и его вычисленіемъ до величинъ меньшихъ половины градуса. Если мы представимъ себѣ, какъ простъ истинный законъ рефракціи (выражающійся такъ: отношеніе синуса угла паденія и синуса угла преломленія постоянно для одной и той же среды), то намъ покажется страннымъ, какимъ образомъ такой человѣкъ какъ Кеплеръ, такъ усердно искавшій его и даже строившій для этого треугольники, не могъ его открыть. Но такое первоначальное незамѣчаніе того, что впослѣдствіи оказывается очевиднымъ и рѣзко бросающимся въ глаза, есть явленіе часто повторяющееся при отысканіи истины.

Истинный законъ преломленія былъ открытъ Вил-

---

*) L. U. K. «*Life of Kepler*», p. 115.



лебрордомъ Снеллемъ около 1621 г.; но онъ былъ въ первый разъ обнародованъ Декартомъ, который видѣлъ записки Снелля *). Декартъ не сознавался, что этотъ законъ открытъ не имъ, а заимствованъ отъ другаго; и по своему обыкновенію вмѣсто того, чтобы доказывать законъ опытами, онъ усиливается доказать его a priori **), сравнивая частички свѣта съ шаромъ, толкающимъ тѣло ускоряющее его движеніе.

(2-е изд.) [Гюйгенсъ говоритъ о записках Снелля: quae et nos vidimus aliquando et Cartesium quoque vidisse accepimus, et hinc fortasse mensuram illam quae in sinibus consistit, elicuerit,—ихъ и мы видѣли когда-то и слышали, что Картезій также видѣлъ и, быть можетъ, изъ нихъ заимствовалъ мѣру угловъ, состоящую въ синусахъ. Исаакъ Фоссіусъ въ своемъ сочиненіи «De Lucis Naturâ et Proprietate» говоритъ, что онъ также видѣлъ этотъ законъ въ напечатанномъ трактатѣ Снелля, и увѣряетъ, что Картезій заимствовалъ свой законъ отъ Снелля и только по своему обыкновенію скрылъ это.

Замѣчаніе Гюйгенса, что Снелль *не имѣлъ въ виду* отношенія синусовъ, очень придирчиво и становится нелѣпостью, если оно сдѣлано для того, чтобы показать, что Снелль не зналъ закона синусовъ. Нельзя отрицать того, что Снелль зналъ истинный законъ и что этотъ законъ есть законъ синусовъ. Конечно Снелль не употреблялъ тригонометрическаго термина синусъ; но онъ выражалъ этотъ законъ въ болѣе простой гео-

*) Гюйгенсъ, «*Dioptrica*», p. 2.
**) «Dioptrique», p. 53.



метрической формѣ. Даже еслибы онъ *имѣлъ въ виду* законъ синусовъ, то и тогда онъ былъ вправѣ предпочесть свою форму выраженія этого закона.

Джемсъ Грегори тоже открылъ самостоятельно вѣрный законъ преломленія и при напечатаніи его объявилъ, что ему было уже извѣстно, что этотъ законъ публикованъ Декартомъ].

Но хотя Декартъ въ этомъ дѣлѣ и не заявилъ себя индуктивнымъ философомъ, однако показалъ много искусства въ выводѣ слѣдствій изъ установившагося закона. Въ особенности мы должны признать его первымъ физикомъ, объяснившимъ радугу. Правда Флейшеръ *) и Кеплеръ еще прежде приписывали это явленіе лучамъ солнечнаго свѣта, которые, падая на капли дождя, преломляются въ каждой каплѣ, отражаются отъ ея внутренней поверхости и затѣмъ снова преломляются наружу; и Антоніо де-Доминисъ уже нашелъ, что стеклянный шаръ наполненный водою, если его помѣстить въ извѣстномъ положеніи относительно глаза, даетъ яркіе цвѣта, и этимъ объяснилъ круговую форму радуги, что еще прежде его сдѣлалъ Аристотель **). Но ни одинъ изъ этихъ писателей не показалъ, почему этотъ узкій и разноцвѣтный кругъ имѣетъ опредѣленный діаметръ, тогда какъ капли, посылающія лучи глазу послѣ двухъ преломленій и отраженія занимаютъ на небѣ гораздо большее пространство. Декартъ разъяснилъ причину этого самымъ удовлетворительнымъ образомъ †), показавъ, что лучи,

*) Montucla, «*Hist. des Math.*» I, 170.

**) «Meteorolog.» III, 3.

†) «Meteorum», cap. VIII, p. 196.



которые послѣ двухъ преломленій и отраженія идутъ въ глазъ наблюдателя подъ угломъ около 41 градуса съ ихъ первоначальнымъ направленіемъ, гораздо плотнѣе, гуще, чѣмъ другіе лучи идущіе въ разныхъ направленіяхъ мимо наблюдателя. Такимъ же способомъ онъ показалъ, что существованіе и положеніе вторичной радуги происходитъ отъ тѣхъ же законовъ. Это есть полное и удовлетворительное объясненіе явленія въ томъ, что касается вида и ширины радуги. Объясненіе же цвѣтовъ радуги относится къ слѣдующимъ отдѣламъ нашей исторіи.

Такое объясненіе радуги и ея величины, сдѣланное на основаніи открытаго Снеллемъ закона синусовъ, было самымъ рѣшительнымъ подтвержденіемъ закона. Но затѣмъ этотъ законъ былъ посредствомъ математическихъ вычисленій приложенъ и къ другимъ предметамъ, къ атмосферному преломленію, къ оптическимъ инструментамъ, діакавстическимъ кривымъ (т. е. тѣмъ напряженно свѣтлымъ кривымъ, которыя происходятъ при преломленіи отъ встрѣчи свѣтовыхъ лучей) и пр.; и всѣ эти приложенія служили конечно подтвержденіемъ его. Но мы не можемъ подробнѣе разсматривать этихъ приложеній, не сказавъ напередъ о законахъ, отъ которыхъ зависитъ въ этихъ случаяхъ происхожденіе различныхъ цвѣтовъ. Объ нихъ мы и будемъ теперь говорить.

(2-е изд.) [Я опустилъ здѣсь много интересныхъ отдѣловъ изъ исторіи оптики этого періода, такъ какъ я имѣю въ виду главнымъ образомъ индуктивныя открытія законовъ, а не математическія дедукціи изъ нихъ, когда они уже открыты. Въ противномъ случаѣ

я долженъ былъ бы говорить объ открытіи Бинооклей, Телескопа, Микроскопа, Камеръ-Обскуры и о математическомъ объясненіи этихъ и другихъ явленій, представленномъ Кеплеромъ и другими; могъ бы указать прогрессъ въ знаніяхъ о глазѣ и зрѣніи. Мы видѣли, что Альгазенъ описалъ устройство глаза. Затѣмъ были постепенно объяснены отправленія каждой изъ его частей. Баптиста Порта сравниваетъ глазъ съ своей camera obscura («Magia naturalis» 1579). Шейнеръ въ своемъ сочиненіи «Oculus», напечатанномъ въ 1562 г., дополнилъ теорію глаза. Кеплеръ занимался разрѣшеніемъ вопросовъ, которые и теперь еще занимаютъ многихъ, напр. вопросомъ о причинахъ и условіяхъ, почему мы двумя глазами видимъ предметы не вдвойнѣ, а одиночно, и почему изображенія въ превратномъ видѣ, рисующіяся въ глазѣ, мы видимъ въ прямомъ].

ГЛАВА III.

Открытіе закона дисперсіи или разсѣянія свѣта, вслѣдствіе преломленія.

Уже очень давно были сдѣланы попытки для объясненія цвѣтовъ радуги и различныхъ другихъ явленій, въ которыхъ цвѣта происходятъ отъ извѣстныхъ случайныхъ и несущественныхъ расположеній и формъ того или другаго вещества. Такъ напр. Аристотель объясняетъ цвѣта радуги предположеніемъ *), что это есть свѣтъ, видимый черезъ темную среду. «Свѣтлое», говоритъ онъ, «видимое черезъ что-нибудь темное, кажется намъ краснымъ, какъ напр. кажется краснымъ огонь зеленаго дерева черезъ дымъ, или солнце черезъ туманъ. Такимъ образомъ чѣмъ слабѣе свѣтъ, или сила зрѣнія, тѣмъ больше цвѣтъ предмета приближается къ черному, становясь сначала краснымъ, потомъ зеленымъ и затѣмъ темно-пурпуровымъ. Но свѣтъ сильнѣе на внѣшнемъ кругѣ, потому что онъ значительно больше, и такимъ образомъ мы, переходя

*) «Meteor.» III, 3, p. 373.

отъ внѣшняго круга къ внутреннему, имѣемъ градацію отъ краснаго черезъ зеленый къ пурпуровому». Это объясненіе едвали бы заслуживало упоминанія, еслибы въ новое время не сдѣлана была попытка возобновить его; именно въ сочиненіи де-Доминиса мы находимъ почти такое же объясненіе цвѣтовъ *). По его понятію свѣтъ самъ по себѣ бѣлъ; но если мы смѣшаемъ его съ чѣмъ-нибудь чернымъ, то отъ этого происходятъ различные цвѣта: сначала красный, потомъ зеленый, наконецъ голубой или фіолетовый. Это представленіе онъ старается примѣнить къ объясненію радуги **) посредствомъ того соображенія, что изъ лучей, идущихъ къ глазу отъ дождевыхъ капель воды, одни проходятъ болѣе плотныя части капли чѣмъ другія, вслѣдствіе чего и получается градація указанныхъ цвѣтовъ.

Декартъ подошелъ гораздо ближе къ истинному объясненію радужныхъ цвѣтовъ. Онъ нашелъ, что такой же рядъ цвѣтовъ можетъ быть произведенъ преломленіемъ въ призмѣ свѣтоваго луча, окруженнаго тѣнью †), и онъ правильно заключилъ изъ этого, что для образованія подобныхъ цвѣтовъ не нужно ни кривой поверхности капель, ни отраженія, ни два раза повтореннаго преломленія. Изслѣдуя далѣе ходъ лучей, онъ весьма близко подошелъ къ вѣрному пониманію предмета; и мы можемъ думать, что онъ предупредилъ бы

*) Cap. III, p. 9. См. также Göthe, «*Farbenlehre*», vol. II, p. 251.

**) Göthe, p. 263.

†) «Meteor.» Sectio VIII, p 190.

Ньютона въ его открытіи различной преломляемости различныхъ цвѣтныхъ лучей, еслибы онъ имѣлъ возможность разсуждать какъ-нибудь иначе, а не на основаніи терминовъ и понятій его предзанятыхъ гипотезъ. Заключеніе, къ которому онъ пришелъ, было слѣдующее *): элементарныя частички чрезвычайно тонкой матеріи, которая передаетъ дѣйствія свѣта, вращаются такъ сильно и напряженно, что онѣ не могутъ двигаться по прямой линіи, отчего и происходитъ преломленіе: и тѣ частички, которыя вращаются скорѣе всѣхъ, производятъ красный цвѣтъ, а тѣ, которыя вращаются медленнѣе, — желтый». Здѣсь мы видимъ уже ясное понятіе о томъ, что между цвѣтами и неодинаковой преломляемостью существуетъ связь, хотя причина преломленія выводится изъ совершенно произвольной гипотезы. И мы можемъ прибавить, что это понятіе, какъ онъ самъ его объясняетъ, онъ вѣрно прилагаетъ къ объясненію цвѣтовъ радуги **).

Мнѣ кажется, что Ньютонъ и другіе были несправедливы къ Декарту, когда приписывали де-Доминису составленіе вѣрной теоріи радуги. Эта теорія состоитъ изъ двухъ существенныхъ пунктовъ: первый показываетъ, что свѣтлая круговая полоса извѣстнаго опредѣленнаго діаметра происходитъ отъ большей напряженности свѣта, доходящаго до глаза подъ извѣстнымъ угломъ; а второй объясняетъ различные цвѣта различною величиною преломленія. Оба эти пункта несомнѣнно были открыты Декартомъ. И онъ разсказы-

*) «Meteor.» Sect. VII, p. 192.
**) «Meteor.» Sect. IX.



ваетъ намъ, что эти открытія сдѣланы были имъ не безъ нѣкотораго умственнаго труда. «Сначала», говоритъ онъ *), «я сомнѣвался, дѣйствительно ли радужные цвѣта происходятъ точно также, какъ цвѣта въ призмѣ; но наконецъ взявшись за перо и тщательно вычисливъ ходъ лучей, которые падаютъ на каждую часть дождевой капли, я нашелъ, что многіе изъ нихъ достигаютъ до глаза больше подъ угломъ въ 41 градусъ, чѣмъ подъ бо̀льшими или меньшими углами. Такимъ образомъ здѣсь мы имѣемъ свѣтлую дугу, окруженную тѣнью; и такимъ образомъ цвѣта ея происходятъ также точно какъ и цвѣта призмы».

Объясненіе этого предмета почти нисколько не подвинуто впередъ въ сочиненіи Гримальди «Physico-Mathesis, de Lumine, Coloribus et Iryde», явившемся въ Болоньѣ въ 1665 г. Въ этомъ сочиненіи встрѣчаются ссылки на многочисленные опыты и предметы излагаются въ систематическомъ порядкѣ, соотвѣтствовавшемъ послѣднимъ успѣхамъ науки. Вычисленія Гримальди относительно радуги сдѣланы почти такъ же, какъ ихъ дѣлалъ Декартъ; но Гримальди былъ гораздо дальше Декарта отъ пониманія причины, производящей окрашиваніе лучей. Онъ вѣрно сгруппировалъ значительное число опытовъ, въ которыхъ цвѣта происходятъ отъ преломленія (prop. 35, p. 254); но онъ объясняетъ ихъ тѣмъ, что вездѣ, гдѣ свѣтовые лучи плотнѣе, и цвѣта должны быть свѣтлѣе; а свѣтъ плотнѣе съ той стороны, отъ которой преломленіе поворачиваетъ лучъ, потому что преломленіе тѣмъ боль-

*) Sect. IX, p. 193.

ше въ лучахъ, чѣмъ болѣе они наклонены (ibid. p. 256). Это объясненіе, хотя и могло быть приложено къ нѣкоторымъ фактамъ, но въ сущности было болѣе ошибочно, чѣмъ было бы простое развитіе взгляда Декарта.

Наконецъ Ньютонъ въ 1672 г. далъ настоящее объясненіе явленіямъ *); именно, что свѣтъ состоитъ изъ лучей различныхъ цвѣтовъ и различной преломляемости. Это кажется намъ столь очевиднымъ способомъ объясненія предмета, что мы едва можемъ понять, какимъ образомъ прежде могли объяснять его иначе. Однако впечатлѣніе, какое произвело это открытіе на Ньютона и его современниковъ, показываетъ, какъ сильно разнилось это объясненіе отъ тогдашнихъ общепринятыхъ понятій. Въ то время господствовало общее убѣжденіе, что окрашиваніе лучей происходитъ не отъ какихъ-нибудь особенностей въ законѣ самого преломленія, но отъ другихъ побочныхъ обстоятельствъ, напр. отъ разсѣянія, или измѣненія напряженности свѣта въ связи съ преломленіемъ. Открытіе же Ньютона ясно показало, что законъ преломленія долженъ прилагаться не вообще къ цѣлому лучу свѣта, но къ каждому цвѣтному лучу отдѣльно.

Когда Ньютонъ, пропустивъ чрезъ маленькое круглое отверстіе въ ставнѣ темной комнаты лучъ свѣта и заставивъ пройти его чрезъ призму, получилъ на противоположной стѣнѣ свѣтлое пятно, то онъ ожидалъ, что оно будетъ круглымъ, что конечно и было бы, еслибы цвѣтные лучи по проходѣ черезъ призму

*) «Phil. Trans.» T. VII, p. 3075.



распространялись одинаковымъ образомъ во всѣхъ направленіяхъ. Но къ своему изумленію онъ увидѣлъ, что пятно или спектръ въ 5 разъ больше въ длину, чѣмъ въ ширину. Вскорѣ онъ убѣдился, что причиной этого явленія не можетъ быть ни различная толщина стекла, ни негладкость его поверхности, ни наконецъ различіе угловъ, подъ которыми идутъ лучи солнца съ противоположныхъ концовъ солнечнаго диска. Онъ нашелъ также, что лучи идутъ отъ призмы до спектра не по кривымъ линіямъ, а по прямымъ; и все это привело его къ убѣжденію, что различные цвѣтные лучи преломляются каждый особо и подъ различнымъ угломъ, и онъ доказалъ это тѣмъ, что пропускалъ черезъ призму и преломлялъ лучи каждаго свѣта отдѣльно.

Эти опыты такъ легки и обыкновенны, и объясненія ихъ Ньютономъ такъ просты и очевидны, что можно было ожидать, что они будутъ встрѣчены всеобщимъ одобреніемъ, тѣмъ болѣе, что Декартъ, какъ мы уже показали, очень близко подошелъ къ этой истинѣ. И дѣйствительно, воззрѣнія Ньютона недолго ждали всеобщаго признанія; однако сначала они встрѣтили довольно непониманія и даже порицанія, которое было весьма непріятно для великаго открывателя, не терпѣвшаго, при своемъ ясномъ умѣ и спокойномъ настроеніи духа, тупости и страсти къ спорамъ въ своихъ противникахъ.

Намъ нѣтъ надобности долго останавливаться на первыхъ возраженіяхъ, которыя дѣлались противъ ученія Ньютона. Іезуитъ, по имени Игнатій Пардисъ, профессоръ въ Клермонѣ, пытался дать другое объясненіе

удлиненному виду спектра и говорилъ, что различные углы, образуемые лучами, выходящими съ двухъ противоположныхъ точекъ солнца, производятъ разницу въ углахъ преломленія; но Ньютонъ, представивъ свои вычисленія, которыми онъ самъ убѣдился въ недостаточности этого объясненія, заставилъ замолчать своего противника. Другимъ болѣе упорнымъ противникомъ былъ Францискъ Линусъ, врачъ изъ Литтиха, который утверждалъ, что, повторивъ опытъ Ньютона, онъ нашелъ, что спектръ или изображеніе солнца, при ясномъ небѣ, кажется круглымъ, а не продолговатымъ, и приписывалъ удлиненіе спектра, замѣченное Ньютономъ, вліянію облаковъ. Ньютонъ нѣкоторое время отказывался отвѣчать на это опроверженіе его показаній; наконецъ послалъ свой отвѣтъ въ 1675 г., когда Линусъ уже умеръ. Но Гаскоинъ, другъ Линуса, все-еще увѣрялъ, что онъ и другіе дѣйствительно видѣли то, что описываетъ голландскій врачъ. Ньютонъ, которому понравилась откровенность письма Гаскоина, отвѣчалъ ему, что голландскіе экспериментаторы побочное изображеніе, которое отражается отъ поверхности призмы и какихъ бываетъ много, вѣроятно по ошибкѣ приняли за настоящее изображеніе, производимое преломленіемъ. При помощи этого указанія Лукасъ въ Литтихѣ повторилъ опыты Ньютона и получилъ тѣ же результаты, какіе описаны Ньютономъ, за исключеніемъ того, что онъ ни разу не получалъ спектра, который былъ бы длиннѣе болѣе чѣмъ въ три съ половиной раза противъ его ширины Ньютонъ съ своей стороны упорно утверждалъ, что спектръ будетъ въ пять разъ длиннѣе противъ ширины, если

опытъ сдѣлать какъ слѣдуетъ. Любопытно, что онъ до такой степени былъ увѣренъ въ этомъ, что воображалъ, что при всевозможныхъ опытахъ долженъ быть тотъ результатъ, какой онъ получалъ. Но мы теперь знаемъ, что дисперсія, или разсѣяніе цвѣтныхъ лучей, а слѣдовательно и длина спектра весьма различны для различныхъ родовъ стекла, и очень вѣроятно, что голландскія призмы дѣйствительно имѣли меньше разсѣевающей силы, чѣмъ англійскія *). Этой ошибки Ньютонъ держался постоянно, и она помѣшала ему сдѣлать открытіе, о которомъ мы будемъ говорить дальше.

Но Ньютону противорѣчили также и лица болѣе значительныя, чѣмъ упомянутыя нами, именно Гукъ и Гюйгенсъ. Но эти противники возражали не столько противъ законовъ преломленія различныхъ цвѣтныхъ лучей, сколько противъ нѣкоторыхъ выраженій Ньютона, которыя, какъ имъ казалось, подавали поводъ къ ложнымъ понятіямъ о составѣ и свойствѣ свѣта. Ньютонъ увѣрялъ, что всѣ цвѣтные лучи составляютъ каждый нѣчто особое и что соединяясь вмѣстѣ они производятъ бѣлый цвѣтъ. Это и вѣрно относительно цвѣтовъ, потому что непосредственно вытекаетъ изъ анализа и разложенія цвѣтныхъ лучей рефракціи. Но Гукъ утверждалъ, что всѣ естественные цвѣта происходятъ отъ комбинаціи двухъ первоначальныхъ цвѣтовъ, краснаго и фіолетоваго **); Гюйгенсъ держался такого же мнѣнія, но принималъ за основные цвѣта

*) Брьюстеръ, «*Newton*», p. 50.

**) Брьюстеръ, «*Newton*», p. 54. «Phil. Trans», VIII, 5084, 6086.



желтый и голубой. Ньютонъ возражалъ имъ, что такія сочетанія не составляютъ сочетаній простыхъ цвѣтовъ въ томъ смыслѣ слова, какой онъ принимаетъ. Но оба эти противники Ньютона держались того мнѣнія, что свѣтъ состоитъ изъ вибрацій эѳира и порицали Ньютона за то, что его выраженія ошибочны, такъ какъ въ нихъ высказывается гипотеза, будтобы свѣтъ есть тѣло. Но Ньютонъ, котораго приводило въ ужасъ одно слово гипотеза, формально протестовалъ противъ этого упрека, будтобы его теорія основывается на такой гипотезѣ.

Ученіе о неодинаковой преломляемости различныхъ солнечныхъ лучей весьма ясно выражалось въ дѣйствіяхъ чечевицъ, или двояко-выпуклыхъ стеколъ, такъ какъ посредствомъ ихъ изображенія предметовъ получались болѣе или менѣе окрашенными, именно вслѣдствіе того, что они не вездѣ одинаково преломляютъ свѣтъ. Во времена Ньютона улучшеніе телескоповъ было сильнымъ практическимъ побужденіемъ къ улучшенію теоретической оптики. Теорія Ньютона показала причину несовершенства тогдашнихъ телескоповъ, которая состояла въ томъ, что различные лучи преломляются различно, отчего и происходитъ хроматическая аберрація; и это несовершенство телескоповъ служило такимъ образомъ подтвержденіемъ его теоріи. Ложное понятіе, о которомъ мы уже говорили, будтобы разсѣяніе одинаково при одинаковомъ преломленіи, произвело въ Ньютонѣ увѣренность, что этотъ недостатокъ неустранимъ и что нельзя получить ахроматическаго или безцвѣтнаго преломленія. Эта увѣренность заставила его отказаться отъ устройства преломляющихъ

телескоповъ и обратиться къ устройству телескоповъ отражающихъ, или рефлекторовъ (съ металлическими зеркалами). Но исправленіе этого ошибочнаго мнѣнія Ньютона было дальнѣйшимъ подтвержденіемъ общей истины его принципа въ другихъ отношеніяхъ; и съ этого времени основательность ньютоновскаго закона преломленія не подвергалась сомнѣнію ни однимъ мыслящимъ физикомъ.

Однако уже въ новѣйшее время ученіе Ньютона о свѣтѣ сильно было оспариваемо человѣкомъ, отъ котораго всего меньше можно было ожидать подробнаго и обстоятельнаго изслѣдованія объ этомъ предметѣ. Знаменитый Гете написалъ сочиненіе подъ заглавіемъ: «Ученіе о цвѣтахъ» («Farbenlehre», Тюбингенъ 1810). Одна изъ главныхъ цѣлей этого сочиненія состояла въ томъ, чтобы доказать, что воззрѣнія Ньютона и сочиненіе, въ которомъ они изложены («Оптика» Ньютона), совершенно ложны и одобряются только по крайнему ослѣпленію и упорному предразсудку. Тѣ, которые знаютъ, какъ быстро распространилось по Германіи это мнѣніе, высказанное Гете, не удивятся подобнымъ выраженіямъ у другихъ писателей — нѣмцевъ. Такимъ образомъ Шеллингъ напр. говоритъ *): «Оптика Ньютона есть величайшій примѣръ цѣлой системы ошибокъ, которая во всѣхъ своихъ частяхъ основана на наблюденіяхъ и опытахъ». Но Гете даже и этого не хотѣлъ признать за сочиненіемъ Ньютона. Онъ перебралъ страница за страницей большую часть этого сочиненія и безпрестанно спорилъ и возражалъ противъ

*) «Vorlesungen», p. 270.

его экспериментовъ, противъ фигуръ, противъ каждаго заключенія, даже противъ каждаго выраженія; и наконецъ объявилъ, что оно противорѣчитъ даже самымъ простымъ фактамъ. Онъ разсказываетъ *), что когда онъ въ первый разъ посмотрѣлъ черезъ призму, то увидѣлъ, что бѣлыя стѣны его комнаты все-таки оставались только бѣлыми, и хотя я, прибавляетъ онъ, былъ въ комнатѣ только одинъ, однако тотчасъ же инстинктивно проговорилъ: «ученіе Ньютона ложно». Намъ нѣтъ нужды замѣчать здѣсь, до какой степени нелѣпо понималъ Гете ученіе Ньютона, когда ожидалъ, что стѣны всей его комнаты представятся въ различныхъ цвѣтахъ.

Гете не только упорно держался того мнѣнія, что Ньютонова теорія ложна, но еще построилъ свою собственную систему для объясненія явленій цвѣтовъ. Для курьеза мы взглянемъ на эту систему, хотя она конечно не составляетъ прогресса въ физической наукѣ. Воззрѣнія Гете немногимъ разнятся отъ воззрѣній Аристотеля и отъ воззрѣній Антоніо де-Доминисъ, хотя они развиты болѣе полно и систематически. По его мнѣнію, цвѣта происходятъ тогда, когда мы смотримъ черезъ мутную среду. Свѣтъ самъ по себѣ безцвѣтенъ; но если мы смотримъ на него черезъ какую-нибудь мутную среду, то онъ является намъ желтымъ. Если мутность среды увеличивается или среда становится толще, то мы видимъ, что свѣтъ постепенно принимаетъ желто красный цвѣтъ, который наконецъ переходитъ въ рубиновый красный. Съ другой сто-

*) «Farbenlehre», vol. II, p. 678.

роны, если смотрѣть на темноту черезъ мутную среду, которая освѣщается падающимъ на нее свѣтомъ, то является голубой цвѣтъ, который становится болѣе свѣтлымъ и яснымъ, чѣмъ болѣе увеличивается мутность среды, и болѣе темнымъ и густымъ чѣмъ болѣе среда становится прозрачною; а когда мы доходимъ до малѣйшей степени чистѣйшей мутности, то видимъ совершенный фіолетовый цвѣтъ (ibid. § 150). Въ дополненіе къ этому ученію о мутной средѣ мы получаемъ еще второй принципъ — принципъ преломленія. Въ безчисленномъ множествѣ случаевъ изображенія предметовъ сопровождаются другими, вторичными, или дополнительными изображеніями, напр. когда мы смотримъ на блестящіе предметы въ зеркало (§ 223). Затѣмъ, если изображеніе перемѣщается вслѣдствіе преломленія, то это перемѣщеніе не бываетъ полнымъ, яснымъ и рѣзкимъ; но бываетъ не полно, такъ что является дополнительное второстепенное изображеніе вмѣстѣ съ главнымъ (§ 227). Этимъ принципомъ сами собою объясняются цвѣта, производимые рефракціей въ изображеніи блестящаго предмета на черномъ фонѣ. Вторичное дополнительное изображеніе полупрозрачно (§ 238); и потому тотъ край его, который подвигается впередъ, выступаетъ изъ темноты въ свѣтъ, и отъ этого является желтый цвѣтъ; и на оборотъ, когда свѣтлый край выступаетъ на темномъ фонѣ, тогда является голубой цвѣтъ (§ 239); и вслѣдствіе этого легко понять, почему изображеніе должно являться краснымъ и желтымъ на одной сторонѣ, а голубымъ и фіолетовымъ на другой.

Намъ нѣтъ нужды далѣе излагать эту систему, или

доказывать, какъ неясны, спутанны и неоснова-тельны ея понятія и способы воззрѣнія. Не трудно указать особенность въ умственномъ складѣ Гете, которая объяснитъ намъ эти его крайне нефилософскія воззрѣнія на предметъ. Одна изъ этихъ особенностей состоитъ въ томъ, что Гете подобно всѣмъ людямъ, у которыхъ слишкомъ дѣятельно поэтическое воображеніе, рѣшительно не имѣлъ таланта и привычки къ геометрическому мышленію. По всей вѣроятности онъ никогда ясно и отчетливо не могъ представить себѣ связи между тѣми положеніями, на которыхъ основано ученіе Ньютона. Другая причина его неспособности понять теорію Ньютона вѣроятно состояла въ томъ, что онъ понималъ соединеніе или смѣшеніе цвѣтовъ совершенно иначе, чѣмъ это слѣдовало по ученію Ньютона. Мы не можемъ себѣ представить ясно, что̀ именно ожидалъ увидѣть Гете при опытахъ; но мы знаемъ изъ его собственныхъ словъ, что его намѣреніе экспериментировать съ призмой возникло вслѣдствіе его прежнихъ спекуляцій о правилахъ смѣшенія красокъ для картинъ; а между тѣмъ эти-то понятія о сочетаніи цвѣтовъ и красокъ въ живописи и нужно было совершенно отложить въ сторону тому, кто хотѣлъ понять теорію Ньютона о сложности свѣта и о соединеніи цвѣтовъ. — Совершенно другаго рода возраженія противъ теоріи Ньютона были сдѣланы извѣстнымъ знатокомъ оптики, сэромъ Давидомъ Брьюстеромъ. Онъ оспариваетъ то мнѣніе Ньютона, что цвѣтные лучи, на которые разлагается свѣтъ чрезъ преломленіе совершенно просты, однородны и неспособны далѣе разлагаться или видоизмѣняться. Онъ на

шелъ, что если пропускать такіе лучи черезъ окрашенныя среды (напр. черезъ голубое стекло), то они не только поглощаются и переходятъ черезъ среду въ различной степени, но нѣкоторые изъ нихъ даже измѣняютъ свой цвѣтъ; на это онъ смотритъ какъ на дальнѣйшее разложеніе простаго луча, такъ какъ одна часть этого цвѣтнаго луча поглощается, а другая проходитъ черезъ среду (другіе экспериментаторы отрицаютъ послѣдній фактъ). И объ этомъ предметѣ мы можемъ сказать только то, что уже говорили прежде, именно, что Ньютонъ вполнѣ и неоспоримо доказалъ свое ученіе въ томъ, что касается анализа и разложенія свѣта посредствомъ преломленія. Но что касается какого-нибудь другаго анализа и разложенія, которое можетъ быть произведено поглощающими средами или какими-нибудь другими агентами, то мы на основаніи опытовъ Ньютона не вправѣ утверждать, что цвѣтной спектръ неспособенъ къ такимъ разложеніямъ. Вообще вопросъ о цвѣтахъ предметовъ, какъ темныхъ, такъ и прозрачныхъ еще далекъ отъ рѣшенія. Догадки Ньютона о причинахъ цвѣтовъ въ тѣлахъ природы нисколько не помогаютъ рѣшенію этого вопроса; и его мнѣніе объ этомъ предметѣ нужно строго отличать отъ важнаго шага, который онъ сдѣлалъ въ оптикѣ, установивъ вѣрное ученіе о разсѣяніи свѣтовыхъ лучей черезъ преломленіе.

(2-е изд.) [Тщательно пересмотрѣвъ во второй разъ сдѣланное Брьюстеромъ разложеніе солнечнаго свѣта на три цвѣта, посредствомъ поглощающей среды, я никакъ не могу согласиться, чтобы этотъ пунктъ былъ вполнѣ доказанъ, какъ исключеніе изъ ученія Нью-

тона. Во первыхъ, разложеніе свѣта на три луча кажется мнѣ произвольнымъ, если даже признать вѣрными результаты, полученные въ его опытахъ. Я не вижу причины, почему онъ, употребляя другія среды, не можетъ получить другихъ элементарныхъ цвѣтовъ. Во вторыхъ, его разложеніе на три цвѣта не можетъ быть названо анализомъ въ томъ же самомъ смыслѣ, въ какомъ разложеніе Ньютона называется анализомъ, или же Брьюстеръ долженъ былъ объяснить отношеніе между этими двумя анализами. Думаетъ ли онъ, что опыты Ньютона ничего не доказываютъ, или же допускаетъ, что заключенія Ньютона вѣрны только относительно свѣта, который не былъ еще разложенъ поглощеніемъ? Да и гдѣ мы найдемъ такой свѣтъ, когда атмосфера есть постоянная поглощающая среда? Наконецъ, въ третьихъ, я долженъ замѣтить, что при всемъ моемъ удивленіи къ искусству Брьюстера, какъ экспериментатора, я думаю, что его опыты нуждаются нетолько въ ограниченіяхъ, но и въ повѣркѣ и подтвержденіи ихъ другими экспериментаторами. Айри повторялъ опыты почти надъ тридцатью различными поглощающими веществами и не могъ замѣтить ни въ одномъ случаѣ, чтобы они измѣнили свѣтъ простаго луча данной преломляющей силы. Эти опыты были описаны имъ на собраніи Кэмбриджскаго Философскаго Общества].

Затѣмъ мы переходимъ къ улучшеніямъ и исправленіямъ, которыя сдѣлало дальнѣйшее поколѣніе въ подробностяхъ этого ученія.

ГЛАВА IV.

Открытіе Ахроматизма.

То открытіе, что законы разсѣянія отъ преломленія въ разныхъ веществахъ таковы, что посредствомъ извѣстнаго соединенія этихъ веществъ можно устранить разсѣяніе лучей, не устраняя однако преломленія, было до сихъ поръ полезно больше для искусства, чѣмъ для науки. Это свойство разсѣянія не имѣло вліянія на разъясненіе самой теоріи свѣта; но зато оно имѣетъ большую важность по своимъ приложеніямъ къ устройству телескоповъ и возбудило къ себѣ всеобщее вниманіе вслѣдствіе того, что предразсудки и разныя другія трудности на долгое время замедлили его открытіе.

Ньютонъ былъ увѣренъ, что онъ доказалъ своими опытами *), что свѣтъ послѣ преломленія остается бѣлымъ только тогда, когда лучи, выходящіе изъ преломляющей среды, параллельны падающимъ лучамъ и ни въ какихъ другихъ случаяхъ. Если это справедли-

*) «Optickѕ», B. 1, p. II, prop. 3.

во, въ такомъ случаѣ невозможно никогда получить безцвѣтныхъ изображеній посредствомъ преломляющихъ средъ; таково и было долгое время общее убѣжденіе, основанное на авторитетѣ Ньютона. Эйлеръ *) замѣтилъ, что возможна комбинація чечевицъ, которая бы не давала окрашенныхъ изображеній; потому что мы имѣемъ уже примѣръ подобной комбинаціи въ человѣческомъ глазѣ, и онъ математически вычислялъ условія, которыя необходимы для такого результата. Клингенстіерна **), шведскій математикъ, также показалъ, что правило Ньютона не всегда вѣрно. Наконецъ Джонъ Доллондъ †) въ 1757 г. повторилъ опыты Ньютона и получилъ противоположные результаты. Онъ нашелъ, что предметъ является окрашеннымъ черезъ двѣ призмы, одну изъ стекла, другую изъ воды, только тогда, если преломляющіе углы ихъ расположены такъ, что предметъ не кажется сдвинутымъ съ своего мѣста. Отсюда слѣдовало, что лучи могутъ испытывать преломленіе не дѣлаясь при этомъ цвѣтными и что, поэтому, если употребить чечевицы на мѣсто призмъ, то можно найти такую комбинацію, которая будетъ давать изображенія безцвѣтныя, и такимъ образомъ дастъ возможность устроивать ахроматическіе телескопы.

Эйлеръ сначала не довѣрялъ опытамъ Доллонда; но Клеро, особенно усердно занимавшійся этимъ дѣломъ, увѣрилъ его въ точности и вѣрности опытовъ; и по-

*) «Мемуары Берлинской академіи» за 1747 годъ.
**) «Мемуары Шведской академіи» за 1754 годъ.
†) «Phil. Transact.» 1758.

слѣ того эти два великіе математика, вмѣстѣ съ д'Аламберомъ, приступили къ изысканію математическихъ формулъ, которыя бы показали, какъ нужно примѣнять къ дѣлу это открытіе. Дальнѣйшіе выводы, которые дѣлались на основаніи законовъ разсѣянія въ веществахъ, различно преломляющихъ, относятся скорѣе къ исторіи искусства, чѣмъ науки. Доллондъ употреблялъ сначала для ахроматическихъ объективовъ двѣ чечевицы, одну изъ кронгласа и другую изъ флинтгласа. Потомъ онъ употреблялъ двѣ чечевицы изъ кронгласа и вставлялъ между ними чечевицу изъ флинтгласа, давая чечевицамъ такую кривизну, чтобы этимъ устранялись разные недостатки въ сферической формѣ и въ окрашиваніи. Впослѣдствіи Блеръ для устройства улучшенныхъ стеколъ употреблялъ жидкости между стеклянными линзами. Тоже самое дѣлалъ недавно и Барловъ только въ другой формѣ. Послѣ того, какъ были установлены индуктивные законы преломленія, результаты изъ нихъ выводились различными математиками и между прочимъ Дж. Гершелемъ и профессоромъ Айри, которые занимались упрощеніемъ и исправленіемъ формулъ, опредѣляющихъ самыя лучшія комбинаціи линзъ въ объективныхъ и глазныхъ стеклахъ телескоповъ, и при этомъ имѣли въ виду устранить какъ сферическую, такъ и хроматическую аберрацію.

По наблюденіямъ Доллонда цвѣтные спектры, производимые призмами изъ двухъ веществъ, наприм. изъ флинтгласа и кронгласа, должны имѣть одинаковую длину, хотя преломленіе ихъ различно. Но въ такомъ случаѣ спрашивается: если все разстояніе отъ

краснаго до фіолетоваго цвѣта въ одномъ спектрѣ равно всему разстоянію въ другомъ, то совпадаютъ ли также между собою и промежуточные цвѣта спектровъ, т. е. желтый, зеленый и пр. Этотъ вопросъ могъ быть рѣшенъ только опытами. Оказалось, что такого совпаденія нѣтъ и что такимъ образомъ, когда устранены посредствомъ комбинацій преломляющихъ средъ недостатки, происходящіе отъ двухъ крайнихъ цвѣтовъ, то этимъ не устранялись недостатки, происходящіе отъ цвѣтовъ промежуточныхъ. Это происходило оттого, что въ спектрахъ, производимыхъ различными средами, одни и тѣ же цвѣта не занимаютъ одинаковаго положенія, и это было названо нераціональностью спектра. Но употребляя три призмы или три чечевицы можно было получить совпаденіе трехъ цвѣтовъ вмѣсто двухъ и такимъ образомъ значительно уменьшить вліяніе нераціональности.

Открытіе Волластономъ и Фраунгоферомъ темныхъ постоянныхъ линій или чертъ въ спектрѣ дало средство опредѣлять съ чрезвычайной точностью соотвѣтствующія части спектровъ, производимыхъ различно-преломляющими веществами.

По соображеніямъ, высказаннымъ выше, мы не будемъ разсматривать далѣе этого предмета, но обратимся къ тѣмъ оптическимъ фактамъ, которые повели наконецъ къ великой и всеобъемлющей теоріи.

(2-е изд.) [О Честерѣ Муръ-Голлѣ, изъ Муръ-Голля въ графствѣ Эссексъ, разсказываютъ, будтобы вслѣдствіе изученія человѣческаго глаза, который онъ считалъ ахроматическимъ, онъ нашелъ средство устроивать и устроивалъ ахроматическіе телескопы еще въ

1729 г.; однако онъ держалъ свое изобрѣтеніе въ секретѣ. Давидъ Грегори въ своей Катоптрикѣ (1713 года) высказывалъ догадку, что можно бы усовершенствовать телескопы, еслибы въ подражаніе человѣческому глазу устроивать объективныя стекла изъ различныхъ веществъ. (Encyc. Brit., статья «Optics»).

Говорятъ, что Клеро первый открылъ нераціональность положенія цвѣтныхъ мѣстъ въ спектрѣ. Изъ этой нераціональности слѣдовало, что если два преломляющія вещества комбинированы такимъ образомъ, что они поправляютъ только крайніе преломленные лучи, т. е. устраняютъ дѣйствіе красныхъ и фіолетовыхъ лучей, то и послѣ этого остается еще окрашиваніе, происходящее отъ неодинаковаго разсѣянія промежуточныхъ лучей, т. е. желтаго, зеленаго и пр. Эти Остающіеся Цвѣта, какъ ихъ назвалъ профессоръ Робизонъ, образуютъ Вторичный Спектръ.

Блеръ посредствомъ весьма остроумныхъ пріемовъ успѣлъ устроить объективныя стекла съ чечевицами изъ жидкостей, совершенно устранявшія цвѣтное окрашиваніе, и приготовлялъ ихъ совершеннѣйшимъ образомъ.

Разсѣяніе, производимое призмой, можетъ быть поправлено другой призмой изъ того же вещества, но съ различнымъ преломляющимъ угломъ. Но въ этомъ случаѣ также остается нераціональность въ мѣстахъ цвѣтныхъ лучей, которая препятствуетъ полному устраненію окрашиванія; и вслѣдствіе этого остается еще уменьшенный спектръ, который сэръ Давидъ Брьюстеръ, въ первый разъ замѣтивъ его, назвалъ Третичнымъ. Говоря объ открытіяхъ относительно спектра, я опустилъ много замѣчательныхъ

опытныхъ изслѣдованій объ этомъ предметѣ и особенно интересныхъ опытовъ о способности различныхъ веществъ поглощать свѣтъ различныхъ частей спектра,—произведенныхъ Брьюстеромъ съ большимъ искусствомъ и остроуміемъ. Объ этихъ опытахъ я уже упоминалъ въ III главѣ. Сэръ Джонъ Гершель, Миллеръ, Даніэль, Фарадэй и Тальботъ также много сдѣлали для этой отрасли нашего знанія.]

ГЛАВА V.

Открытіе законовъ двойнаго преломленія.

Законы преломленія, о которыхъ мы говорили до сихъ поръ, просты и однородны; и самое преломленіе всегда имѣло постоянное симметрическое отношеніе къ поверхности преломляющей среды. По этому физики чрезвычайно были изумлены, когда вниманію ихъ представился рядъ явленій, въ которыхъ не было этой симметричности и въ которыхъ преломленіе совершалось даже не въ плоскости паденія. Эти явленія дѣйствительно заслуживали вниманія и удивленія возбужденнаго ими, потому что дальнѣйшее изслѣдованіе ихъ повело къ открытію общихъ законовъ свѣта. Явленія, о которыхъ я говорю, встрѣчаются въ различныхъ кристаллическихъ тѣлахъ; но долгое время были замѣчаемы только въ одномъ, именно въ ромбоэдрическомъ известковомъ шпатѣ, или, какъ его обыкновенно называютъ по имени страны, которая доставляетъ самые большіе и самые чистые кристаллы его,—въ исландскомъ шпатѣ. Эти ромбоэдрическіе кристаллы обыкновенно весьма гладки и прозрачны и

часто бываютъ значительной величины. Было замѣчено, что если смотрѣть черезъ этотъ кристаллъ на предметы, то они кажутся вдвойнѣ. Это явленіе еще въ 1669 году считалось столь любопытнымъ, что Эразмъ Бартолинъ напечаталъ объ немъ особое сочиненіе въ Копенгагенѣ (Experimenta crystalli islandici, Hafniae 1669) *). Анализируя это явленіе онъ открылъ, что одно изъ двухъ изображеній одного и того же предмета получаемыхъ черезъ исландскій шпатъ происходитъ отъ обыкновеннаго преломленія и по извѣстному закону, а другое производится какимъ-то необыкновеннымъ преломленіемъ. Бартолинъ нашелъ, что это послѣднее преломленіе бываетъ различно при различномъ положеніи падающаго луча и направляется по линіямъ, параллельнымъ къ сторонамъ ромбоэдра; всего больше оно бываетъ въ направленіи линіи, которая пересѣкаетъ на половинѣ два противолежащіе угла кристалла.

Эти правила до извѣстной степени были вѣрны. Но нельзя было ожидать, чтобы изъ нихъ тотчасъ же были выведены истинные законы явленій, такъ какъ геометрическія условія, управляющія необыкновеннымъ или двойнымъ преломленіемъ, до такой степени сложны, что даже Ньютонъ не могъ понять ихъ; и они объяснены были только въ настоящее время опытами Гея (Haüy) и Волластона. Но Гюйгенсъ имѣлъ ключъ отъ этого секрета въ своей теоріи, по которой распространеніе свѣта объяснялось волнообразными движеніями и которую онъ развилъ на столько отчетливо

---

*) Priestley's «Opticks», p. 550.



и ясно, на сколько требовалось для приложенія ея къ объясненію этого явленія. Вслѣдствіе этого онъ былъ въ состояніи объяснить законы этого явленія съ такою точностью и опредѣленностью, которыя были вполнѣ оцѣнены только въ позднѣйшее время, когда этотъ предметъ обратилъ на себя особенное вниманіе физиковъ. Трактатъ Гюйгенса былъ написанъ въ 1678 г. *), а напечатанъ только въ 1690.

Въ этомъ трактатѣ законы обыкновеннаго и необыкновеннаго преломленія въ исландскомъ шпатѣ изложены въ связи между собою; они и въ самомъ дѣлѣ имѣютъ одинаковыя построенія, сдѣланныя для обыкновеннаго преломленія, при помощи воображаемаго круга, а для необыкновеннаго при помощи сфероида; и сплюснутость этого сфероида соотвѣтствуетъ ромбоэдрическому виду кристалла, а большая ось его лежитъ въ такъ-называемой симметрической оси кристалла. Гюйгенсъ провелъ это общее представленіе предмета черезъ всѣ отдѣльныя положенія и условія падающаго луча и такимъ образомъ получилъ правило, которое онъ сравнивалъ съ наблюденіемъ, измѣняя различнымъ образомъ разрѣзы кристалла и направленіе лучей. «Я подробно изслѣдовалъ», говоритъ онъ **), «свойства необыкновеннаго преломленія этого кристалла, чтобы видѣть, точно ли соотвѣтствуетъ наблюденіямъ каждое отдѣльное явленіе, предполагаемое по моей теоріи. Такое соотвѣтствіе оказалось; и оно конечно слу-

*) См. его предисловіе къ этому трактату.

**) См. трактатъ объ оптикѣ Масереса стр. 250 и трактатъ Гюйгенса о свѣтѣ гл. V, статья 43.



житъ достаточнымъ подтвержденіемъ вѣрности моихъ предположеній и принциповъ. Но то, что я прибавлю здѣсь, подтверждаетъ ихъ еще разительнѣе. Именно если разрѣзывать кристаллъ по различнымъ направленіямъ, то при всѣхъ этихъ разрѣзахъ получаются точно такія преломленія, какія я напередъ предскажу на основаніи моей теоріи».

Такого рода увѣренія и со стороны такого естествоиспытателя, какъ Гюйгенсъ, заслуживали большаго довѣрія; однако Ньютонъ или не замѣчалъ ихъ, или не цѣнилъ. Въ своей Оптикѣ онъ даетъ правила для необыкновеннаго преломленія въ исландскомъ шпатѣ, которыя совершенно ошибочны, и не представляетъ никакого основанія, почему онъ отвергъ законъ, открытый Гюйгенсомъ; между тѣмъ какъ самъ онъ кажется не дѣлалъ по этому предмету никакихъ опытовъ. Ученіе Гюйгенса о двойномъ преломленіи, также какъ и его теорія волнообразныхъ движеній, долгое время оставалась въ забвеніи и пренебреженіи, о которыхъ мы будемъ говорить впослѣдствіи. Но въ 1788 году Гей показалъ, что правила Гюйгенса болѣе согласуются съ опытомъ, чѣмъ правила Ньютона, и въ 1801 году Велластонъ, употребившій для измѣренія преломленія свой собственный методъ, пришелъ къ тому же результату. «Онъ сдѣлалъ», разсказываетъ Юнгъ*), «множество точныхъ опытовъ съ приборомъ, специально и отлично приспособленнымъ для изслѣдованія этихъ явленій, но не могъ найти никакого общаго принципа, связующаго между собою эти явленія, пока ему не

*) Quart. Rev. 1809. Nov. p. 338.

указали на сочиненіе Гюйгенса». Въ 1808 году Французскій Институтъ предложилъ на премію вопросъ о двойномъ преломленіи, и Малюсъ, мемуаръ котораго получилъ премію, такъ разсказываетъ о своихъ изслѣдованіяхъ: «Я началъ тѣмъ, что произвелъ длинный рядъ наблюденій и измѣреній, какъ на естественныхъ, такъ и на искусственныхъ сторонахъ исландскаго шпата. Затѣмъ, повѣряя этими наблюденіями различные законы, предложенные до настоящаго времени различными физиками, я былъ пораженъ удивительнымъ согласіемъ съ явленіями закона Гюйгенса и скоро убѣдился, что это дѣйствительно законъ природы». Изучая далѣе слѣдствія этого закона, онъ нашелъ, что законъ объясняетъ даже тѣ явленія, которыя были неизвѣстны самому Гюйгенсу. Съ этого времени этотъ законъ былъ принятъ физиками, также какъ вскорѣ за тѣмъ была принята и Гюйгенсова теорія волнообразныхъ движеній, приведшая его къ этому закону.

Свойства двойнаго преломленія сначала изучались только на исландскомъ шпатѣ, въ которомъ оно дѣйствительно очень замѣтно. Но тѣмъ же свойствомъ, хотя въ меньшей мѣрѣ, обладаютъ и другіе кристаллы. Гюйгенсъ замѣтилъ двойное преломленіе въ горномъ хрусталѣ *), а Малюсъ замѣтилъ его еще во многихъ другихъ тѣлахъ, напр. въ арроганитѣ, баритѣ, стронціанѣ, цирконіѣ, смарагдѣ, полевомъ шпатѣ, сѣрѣ и др. Было сдѣлано много большей частью неудачныхъ опытовъ для того, чтобы всѣ эти тѣла подвести подъ

*) См. его трактатъ о свѣтѣ, гл. V, статья 20.



законъ, который найденъ былъ въ исландскомъ шпатѣ. Прежде всего Малюсъ предполагалъ, что необыкновенное преломленіе всегда можетъ быть опредѣлено построеніемъ сплюснутаго сфероида; но Біо *) показалъ, что есть два рода кристалловъ, изъ которыхъ для однихъ этотъ сфероидъ продолговатъ, а для другихъ сплюснутъ, и потому первые онъ назвалъ притягивающими, а другіе отталкивающими кристаллами. Съ такой поправкой этотъ законъ прилагался къ значительному числу отдѣльныхъ случаевъ; но впослѣдствіи открытія Брьюстера доказали, что даже въ этой формѣ законъ примѣнимъ только къ тѣмъ веществамъ, кристаллы которыхъ имѣютъ только одну симметрическую ось, напр. ромбоэдръ, или четырехсторонняя пирамида. Въ другихъ же случаяхъ, какъ напр. въ ромбической призмѣ, въ которой кристаллы относительно кристаллической симметріи имѣютъ двѣ оси, дѣйствуетъ болѣе сложный законъ. Въ этихъ случаяхъ кругъ и сфероидъ, которые предполагаются для построенія двойнаго преломленія въ одноосныхъ кристаллахъ, превращаются въ двѣ другія поверхности, которыя происходятъ отъ двухъ вращеній особой кривой линіи; здѣсь ни одинъ изъ двухъ лучей не слѣдуетъ закону обыкновеннаго преломленія; и формулы, опредѣляющія ихъ положенія, весьма сложны. Однако и здѣсь можно убѣдиться въ согласіи этихъ формулъ съ наблюденіями надъ преломленіемъ въ кристаллахъ, если извѣстнымъ образомъ разрѣзывать эти кристаллы, какъ дѣлали это

---

*) Biot, «*Traité de Physique*» III, 330.

Френель и Араго. Но этотъ сложный законъ двойнаго преломленія былъ открытъ при помощи теоріи свѣтоносцаго эѳира; и потому мы теперь обращаемся къ другимъ фактамъ, которые подали поводъ къ составленію этой теоріи.

ГЛАВА VI.

Открытіе законовъ Поляризація.

Если необыкновенное преломленіе въ исландскомъ шпатѣ уже казалось страннымъ, то другое явленіе, замѣченное въ томъ же веществѣ, должно было показаться еще болѣе страннымъ, и было въ высшей степени важно. Я разумѣю здѣсь въ высшей степени интересныя явленія, которыя впослѣдствіи названы были Поляризаціей. Гюйгенсъ первый замѣтилъ эти явленія. Въ концѣ своего трактата, уже упомянутаго нами, онъ говоритъ *): «Прежде чѣмъ я оставлю изслѣдованія объ этомъ кристаллѣ, я укажу на другой удивительный феноменъ, который я открылъ, занимаясь этимъ предметомъ; и хотя я до сихъ поръ не могъ найти причину этого новаго явленія, но тѣмъ не менѣе я опишу его съ тѣмъ, чтобы дать другимъ случай открыть эту причину». И затѣмъ, онъ описываетъ это явленіе, которое состоитъ въ томъ, что если два ромбоэдра исландскаго шпата лежатъ параллельно ме-

*) «Трактатъ о свѣтѣ», стр. 252.

жду собою, то двойной лучъ, преломленный первымъ кристалломъ, не раздѣляется уже, когда падаетъ на второй кристаллъ; но обыкновенно преломленный лучъ обыкновенно и преломляется вторымъ кристалломъ, а необыкновенно преломленный лучъ необыкновенно и преломляется вторымъ кристалломъ, такъ что ни одинъ изъ этихъ лучей уже не раздвояется. То же самое явленіе происходитъ и тогда, когда главныя плоскости кристалловъ параллельны между собою, хотя бы самые кристаллы были и не параллельны между собою. Но если главная плоскость втораго кристалла перпендикулярна къ плоскости перваго, то бываетъ обратное тому, что сейчасъ сказано; именно, обыкновенно преломленный лучъ перваго кристалла претерпѣваетъ необыкновенное преломленіе во второмъ, а необыкновенный лучъ перваго кристалла претерпѣваетъ во второмъ обыкновенное преломленіе. Такимъ образомъ въ каждомъ изъ этихъ положеній кристалловъ двойное преломленіе каждаго луча въ первомъ кристаллѣ сводится только къ простому преломленію во второмъ кристаллѣ, хотя и различно въ каждомъ изъ двухъ положеній. Но во всякомъ другомъ положеніи кристалловъ, т. е. если они относительно другъ друга и не параллельны и не перпендикулярны, каждый изъ двухъ лучей, преломленный первымъ кристалломъ, преломляется вдвойнѣ вторымъ кристалломъ; такъ что изъ втораго кристалла выходитъ уже 4 луча, между тѣмъ какъ при прежнихъ параллельныхъ положеніяхъ кристалловъ изъ втораго кристалла выходило только два луча. (Другими словами: если черезъ одинъ кристаллъ смотрѣть на свѣтящійся предметъ, напр. на звѣзду, то видно два изо-

браженія звѣзды отъ обыкновеннаго и необыкновеннаго преломленія; если смотрѣть на тотъ же предметъ черезъ два такихъ кристалла, главныя плоскости которыхъ параллельны или перпендикулярны одна къ другой, то видно также только два изображенія предмета;. во всѣхъ же другихъ положеніяхъ главныхъ плоскостей кристалловъ видно 4 изображенія предмета, ясность которыхъ однако различна и для обоихъ измѣняется періодически, и притомъ такъ, что при параллельномъ или перпендикулярномъ положеніи плоскостей два изъ 4 образовъ совершенно исчезаютъ; а всѣ 4 изображенія только тогда имѣютъ одинаковую ясность, когда главныя плоскости кристалловъ наклонены другъ къ другу подъ угломъ въ 45 градусовъ. Литтровъ.)

Во второмъ изданіи своей Оптики (1717) Ньютонъ пытался объяснить это явленіе. По его мнѣнію, оно происходитъ оттого, что лучи свѣта имѣютъ различныя стороны и что они претерпѣваютъ обыкновенное или необыкновенное преломленіе, смотря по тому, перпендикулярны, или параллельны эти стороны къ главной плоскости кристалла (Quaest. 26). Такимъ образомъ ясно, что тѣ лучи, которые въ первомъ кристаллѣ претерпѣли необыкновенное преломленіе вслѣдствіе того, что ихъ стороны были перпендикулярны къ главной плоскости, подвергнутся необыкновенному преломленію и во второмъ кристаллѣ, если его главная плоскость параллельна плоскости перваго; а всѣ они подвергнутся обыкновенному преломленію, если главная плоскость втораго кристалла перпендикулярна къ плоскости перваго, и слѣдовательно параллельна къ

сторонамъ преломленнаго луча. Этотъ взглядъ объясняетъ нѣкоторыя стороны этого предмета, а другія оставляетъ въ сомнѣніи.

Этотъ предметъ нисколько не подвинулся впередъ до тѣхъ поръ, пока, почти черезъ столѣтіе, за него не взялся Малюсъ, занимавшійся вообще другими сторонами двойнаго преломленія *). Онъ повѣрилъ и подтвердилъ прежнія наблюденія Гюйгенса и Ньютона и вмѣстѣ съ тѣмъ открылъ другой способъ, которымъ можно дать свѣту то замѣчательное свойство, по которому онъ преломляется то обыкновеннымъ, то необыкновеннымъ путемъ. Часть этого открытія онъ сдѣлалъ совершенно случайно **). Въ 1808 г. Малюсъ однажды вечеромъ наблюдалъ свѣтъ солнца, отраженный отъ оконъ Люксембургскаго дворца и проходившій черезъ ромбоэдръ исландскаго шпата. При этомъ онъ замѣтилъ, что когда онъ поворачивалъ кристаллъ, то два изображенія измѣнялись въ своей ясности. Онъ однако не видалъ, чтобы изображенія совершенно исчезали, потому что свѣтъ, отраженный отъ оконъ, не былъ настоящимъ образомъ измѣненъ или, употребляя выраженіе Малюса, не былъ вполнѣ поляризованъ. Полная же поляризація свѣта, вслѣдствіе отраженія отъ стекла или отъ другаго прозрачнаго вещества, бываетъ, какъ онъ скоро нашелъ, только при извѣстномъ опредѣленномъ углѣ паденія свѣта, различномъ для каждаго вещества ***). Также было найдено, что во всѣхъ кри-

*) Malus, «*Théorie de la double refraction*».

**) Араго, статья «*Polarisation*» въ прилож. къ «*Enc. Brit*».

***) Если пустить лучъ свѣта на черное зеркальное стекло подъ угломъ паденія въ 54° 35′ и послѣ отраженія



сталлахъ, въ которыхъ совершается двойное преломленіе, раздвоеніе преломленныхъ лучей всегда сопровождается поляризаціей; и два луча, обыкновенный и необыкновенный, всегда поляризуются противоположно, т. е. въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ одна къ другой. Терминъ «Полюсъ» или «Полярность», употребленный Малюсомъ, выражаетъ собою почти то же самое понятіе, какъ и терминъ «сторона», употребленный Ньютономъ; но къ этому понятію прибавляется еще представленіе о новомъ свойствѣ, которое является или исчезаетъ, смотря по тому, находятся или не находятся полюсы въ извѣстномъ направленіи, такъ что въ этомъ отно-

—

пропустить его черезъ исландскій шпатъ, главная плоскость котораго параллельна съ плоскостью зеркальнаго стекла, то этотъ лучъ претерпѣваетъ въ кристаллѣ только одно обыкновенное преломленіе. Если же поворачивать кристаллъ до тѣхъ поръ, пока его главная плоскость станетъ перпендикулярна къ плоскости зеркальнаго стекла, то отраженный лучъ претерпѣваетъ только одно необыкновенное преломленіе. Между этими двумя положеніями, т. е. между тѣмъ положеніемъ, когда главная плоскость кристалла составляетъ съ стекломъ уголъ въ 0°, и тѣмъ, когда она составляетъ съ нимъ 90°, — отраженный отъ стекла лучъ преломляется въ кристаллѣ вдвойнѣ, или на два луча, обыкновенный и необыкновенный. Если же лучъ падаетъ на черное зеркальное стекло не подъ 54° 35′, а подъ какимъ-нибудь другимъ угломъ, тогда онъ поляризуется не вполнѣ, т. е. отраженный лучъ въ тѣхъ двухъ случаяхъ, когда онъ прежде, какъ вполнѣ поляризованный, претерпѣвалъ только простое преломленіе, теперь претерпѣваетъ двойное, но одинъ изъ двухъ лучей относительно другаго всегда бываетъ очень слабъ. Тотъ уголъ, подъ которымъ лучъ долженъ падать, чтобы стать вполнѣ поляризован-

шеніи это свойство похоже на полярность магнетическихъ тѣлъ. Если мы станемъ смотрѣть на лучъ поляризованнаго свѣта черезъ прозрачный кристаллъ исландскаго шпата, то каждое изъ двухъ изображеній луча, произведенныхъ двойнымъ преломленіемъ, измѣняется въ своей ясности, если мы станемъ поворачивать кристаллъ. Напримѣръ если предположить, что кристаллъ поворачивается вокругъ по направленію точекъ компаса N, E, S, W, и если одно изображеніе будетъ свѣтлѣе всего тогда, когда кристаллъ указываетъ на N и S, то это изображеніе совершенно исчезнетъ, когда кристаллъ будетъ показывать на E и W; и наоборотъ

нымъ, называется угломъ поляризаціи. Мы скоро увидимъ, что для каждаго тѣла тангенсъ угла поляризаціи равенъ показателю преломленія этого тѣла. Такой лучъ, вполнѣ поляризованный черезъ преломленіе въ кристаллѣ или черезъ отраженіе отъ зеркала, кромѣ указаннаго свойства не подвергаться при извѣстныхъ условіяхъ двойному преломленію, имѣетъ еще то свойство, что онъ не подвергается также отраженію и обыкновенному преломленію. Напримѣръ, если вполнѣ поляризованный черезъ отраженіе отъ зеркальнаго стекла лучъ поймать на другое зеркальное стекло подъ тѣмъ же угломъ въ 45° 35′, то онъ вполнѣ отражается отъ этого втораго стекла, если плоскости паденія луча на оба стекла параллельны между собою; и напротивъ онъ не отражается, или, когда стекло совершенно черно, поглощается имъ, если эти двѣ плоскости перпендикулярны между собою. Во всякомъ же другомъ положеніи, среднемъ между этими двумя, лучъ только отчасти отражается или только отчасти поглощается или пропускается. Плоскость паденія луча на первое стекло называется обыкновенно Плоскостью Поляризаціи. (Пр. Литтрова).

второе изображеніе исчезнетъ тогда, когда кристаллъ показываетъ N и S, и будетъ яснѣе всего, когда кристаллъ показываетъ E и W. Первое изъ этихъ изображеній поляризовано въ плоскости NS, проходящей черезъ лучъ, а второе въ плоскости EW, перпендикулярной къ первой. И такимъ образомъ эти лучи поляризованы противоположно. Далѣе было найдено, что, поляризуется ли лучъ отраженіемъ отъ стекла, или отъ воды, или вслѣдствіе двойнаго преломленія,—видоизмѣненіе свѣта, происшедшее отъ этого, или, что̀ тоже, свойство поляризаціи во всѣхъ этихъ случаяхъ одинаково, и что указанныя поперемѣнныя явленія обыкновеннаго и необыкновеннаго преломленія и непреломленія всегда одинаковы, въ какомъ бы кристаллѣ они ни совершались и какимъ бы образомъ ни былъ поляризованъ свѣтъ; однимъ словомъ, что это свойство свѣта, разъ пріобрѣтенное имъ, не зависитъ ни отъ чего, кромѣ сторонъ или полюсовъ луча; и на этомъ основаніи въ 1811 г. введенъ былъ терминъ «Поляризація Свѣта» *).

При такомъ воззрѣніи на предметъ естественно рождался вопросъ, нельзя ли и другими средствами сообщать свѣту это свойство и по какому закону оно вообще сообщается. Было найдено, что нѣкоторые кристаллы, вмѣсто того чтобы давать при двойномъ преломленіи два противоположно поляризованныя изображенія, даютъ только одно такое изображеніе. Такое свойство Брьюстеръ нашелъ въ агатѣ, а Біо и Зебекъ въ турмалинѣ. Вслѣдствіе этого послѣдній минералъ

*) «Mem. de l'Inst.» 1810.

преимущественно сталъ употребляться въ аппаратахъ для подобныхъ наблюденій. Въ короткое время было открыто, что свѣтъ можетъ быть поляризованъ какъ преломленіемъ, такъ и отраженіемъ отъ поверхности некристаллическихъ тѣлъ, какъ напр. стекла, что плоскость поляризаціи перпендикулярна къ плоскости отраженія, далѣе, что если часть луча поляризована отраженіемъ, то другая поляризуется преломленіемъ, если обѣ плоскости поляризаціи перпендикулярны одна къ другой, и что наконецъ какъ при отраженіи, такъ и при преломленіи несовершенная поляризація, производимая одной пластинкой вещества, можетъ быть сдѣлана болѣе совершенной и даже полною постепеннымъ увеличеніемъ числа пластинокъ *).

*) Два изображенія одного и того же предмета, получаемыя черезъ исландскій шпатъ, при различныхъ положеніяхъ кристалла измѣняются въ своей ясности и интенсивности, какъ уже было сказано выше. Но если падающій лучъ совершенно поляризованъ этимъ кристалломъ, то въ это мгновеніе всегда исчезаетъ одно изъ двухъ изображеній, и это исчезаніе одного луча совершается при извѣстномъ положеніи главной плоскости кристалла, между тѣмъ какъ при другомъ положеніи, перпендикулярномъ къ этому, онъ имѣетъ наибольшую интенсивность. Это исчезаніе одного изъ двухъ лучей имѣетъ мѣсто и въ различныхъ другихъ преломляющихъ или отражающихъ аппаратахъ (въ которыхъ обыкновенный свѣтъ не исчезъ бы), но всегда только при опредѣленномъ положеніи главныхъ плоскостей этихъ аппаратовъ; между тѣмъ этотъ самый лучъ имѣетъ наибольшую интенсивность, если эти главныя плоскости приводятся въ положеніе перпендикулярное первому. Въ этихъ случаяхъ говорятъ, что лучъ по-

Среди подобнаго накопленія фактовъ, наше дѣло— показать, какіе были при этомъ открыты общіе законы. Сдѣлать такія открытія безъ общей теоріи, объясняющей явленія, можно было только при необыкновенномъ остроуміи и при счастливомъ случаѣ. Однако нѣкоторые законы были уже открыты и при этой неполнотѣ знаній о предметѣ. Малюсъ въ 1811 г. дошелъ до важнаго обобщенія, что какимъ бы образомъ мы ни получили поляризованный лучъ свѣта, мы въ тоже время получаемъ и другой лучъ, поляризованный въ противоположномъ направленіи. Такимъ образомъ, если отраженіе даетъ поляризованный лучъ, то сопутствующій ему другой преломленный лучъ поляризованъ противоположно, но по длинѣ его проходитъ также и часть неполяризованнаго свѣта. Въ особенности мы должны указать здѣсь на открытое Брью-

---

ляризуется въ плоскости, въ которой свѣтъ его имѣетъ наибольшую интенсивность.

Выраженіе «поляризація» употреблено для этого видоизмѣненія потому, что при этомъ предполагается, что отдѣльныя частички свѣта имѣютъ *полюсы* и что эти частички при распространеніи ускоряются или задерживаются смотря по тому, находятся ли эти полюсы ихъ въ плоскости поляризаціи или въ плоскости перпендикулярной къ ней.

Если въ настоящее время подобное объясненіе этого свойства свѣта и не можетъ быть принято, то терминъ «поляризація» все-таки остается удобнымъ и вѣрнымъ, такъ какъ мы во всѣхъ случаяхъ обыкновенно называемъ *полярными* такія свойства, которыя при противоположныхъ положеніяхъ даютъ противоположные результаты. (Пр. Литтрова).

стеромъ правило, которымъ опредѣляется уголъ поляризаціи различныхъ тѣлъ.

Малюсъ *) сказалъ, что уголъ отраженія, при которомъ самымъ полнымъ образомъ поляризуется отраженный лучъ, не находится ни въ какой связи съ преломляющей или разсѣевающей способностью тѣлъ. Однако связь существуетъ и она очень проста. Въ 1815 г. Брьюстеръ установилъ законъ **), которымъ во всѣхъ случаяхъ опредѣляется этотъ уголъ, именно: «показатель преломленія есть тангенсъ угла поляризаціи». Изъ этого слѣдуетъ, что поляризація происходитъ тогда, когда отраженный и преломленный лучи стоятъ подъ прямымъ угломъ другъ къ другу. Это простое и прекрасное правило было вполнѣ подтверждено всѣми послѣдующими наблюденіями, напр. наблюденіями Біо и Зебека, и должно считаться однимъ изъ счастливѣйшихъ и важнѣйшихъ открытій относительно законовъ оптики.

Когда такимъ образомъ открытъ былъ законъ поляризаціи чрезъ отраженіе, Брьюстеръ и Біо пытались найти законы и для всѣхъ тѣхъ случаевъ, въ которыхъ происходятъ многія отраженія или преломленія. Также Френель въ 1817 и 1818 г. пытался опредѣлить дѣйствіе отраженія черезъ измѣненіе направленія поляризаціи, — что Малюсъ опредѣлилъ не точно въ 1810 г. Но сложность предмета дѣлала крайне ненадежными всѣ такія попытки, пока не была составлена теорія этихъ явленій въ томъ періодѣ, о кото-

*) Mem. de l'Institut. 1810.

**) Phil. Trans. 1815.



ромъ мы будемъ говорить теперь. Законы, о которыхъ мы уже сказали, были важными матеріалами для составленія теоріи; но эту теорію еще болѣе подвинули впередъ нѣкоторые другіе отдѣлы явленій, еще болѣе замѣчательные, которыми мы и займемся въ трехъ слѣдующихъ главахъ.

ГЛАВА VII.

Открытіе закона цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ.

Факты, о которыхъ мы будемъ говорить здѣсь, замѣчательны въ томъ отношеніи, что въ нихъ цвѣта происходятъ не отъ чего-либо, а просто отъ малаго размѣра пластинокъ. Цвѣтъ не разлагается здѣсь вслѣдствіе какого-нибудь особеннаго свойства веществъ, а разбивается на части вслѣдствіе незначительной величины ихъ частей. Поэтому эти явленія дали намъ весьма важныя указанія на истинную структуру свѣта; и съ самаго начала повели къ воззрѣніямъ, которыя въ большей части своей совершенно вѣрны.

Гукъ первый нѣсколько подвинулъ впередъ дѣло объ открытіи закона Цвѣтовъ Тонкихъ Пластинокъ. Въ своей «Micrographia», напечатанной Королевскимъ Обществомъ въ 1666 г., онъ подробно и систематически описываетъ многія явленія этого рода, которыя онъ назвалъ «фантастическими цвѣтами». Онъ наблюдалъ ихъ въ слюдѣ, прозрачномъ минералѣ, который способенъ дѣлиться на чрезвычайно тонкія пластинки, какія нужны для произведенія цвѣтовъ; онъ замѣтилъ

ихъ также въ щеляхъ этого вещества, въ мыльныхъ пузыряхъ, въ тонкихъ пластинкахъ смолы, резины, стекла, въ тонкой чешуѣ на поверхности закаленной стали, между двумя пластинками стекла и проч.; онъ узналъ также *), что для произведенія каждаго цвѣта требуется пластинка опредѣленной толщины, и это обстоятельство послужило однимъ изъ оснований для его теоріи свѣта.

Ньютонъ взялся за этотъ предметъ тамъ, гдѣ его оставилъ Гукъ, и изслѣдовалъ его съ обыкновеннымъ своимъ искусствомъ и ясностью въ своемъ «Discourse on Light and Colours». представленномъ Королевскому Обществу въ 1675 г. Онъ точно опредѣлилъ, — чего не сдѣлалъ Гукъ,—толщину пластинки, какая необходима для произведенія каждаго цвѣта; и этимъ способомъ вполнѣ объяснилъ цвѣтныя кольца, которыя появляются, когда двѣ чечевицы сложены вмѣстѣ, и ту скалу цвѣтовъ, которая бываетъ при этихъ кольцахъ, — шагъ тѣмъ болѣе важный, что та же самая скала встрѣчается при многихъ другихъ оптическихъ явленіяхъ.

Не наше дѣло оцѣнивать здѣсь гипотезу Ньютона, основанную на этихъ фактахъ, о «расположеніяхъ свѣта къ легкой передачѣ и отраженію» **). Мы увидимъ

---

*) «*Micrographia*», p. 53.

**) Accessus facilioris reflexionis et transmissionis, какъ онъ выражался. Вслѣдствіе этого свойства свѣта частички его, по предположенію Ньютона, находятся въ періодически измѣняющихся состояніяхъ, вмѣстѣ съ которыми въ одинаковой мѣрѣ измѣняется и расположеніе ихъ къ отраженію и передача. Путь, который пробѣгаетъ свѣтовая



впослѣдствіи, что эта испробованная имъ индукція была несовершенна, также какъ вполнѣ была неудовлетворительна попытка его объяснить законами тон-

---

частичка, пока не получитъ снова расположенія, какое она имѣла при началѣ этого пути, онъ называлъ интерваломъ расположенія, и предполагалъ, что каждый цвѣтъ имѣетъ особый свойственный ему интервалъ. Далѣе онъ предполагалъ, что этотъ интервалъ измѣняется при отвѣсномъ переходѣ свѣта въ новую среду и относится къ прежнему какъ показатель преломленія къ 1; для лучей же, падающихъ наклонно, этотъ интервалъ зависитъ также отъ угла паденія и при прочихъ равныхъ условіяхъ бываетъ тѣмъ меньше, чѣмъ дальше цвѣтъ его въ спектрѣ отстоитъ отъ краснаго. Поэтому предположенію свѣтовая частичка, которая отражается, если она прошла въ среду до опредѣленной глубины a, опять отражается, если пройденный ею слой среды имѣетъ толщину $3a$, $5a$, $7a$ и т. д.; и напротивъ, проходитъ черезъ среду, если толщина слоя есть $2a$, $4a$, $6a$ и т. д.

Ньютонъ употреблялъ при своихъ опытахъ преимущественно стеклянныя пластинки, на которыя онъ клалъ выпуклое стекло съ вѣрно сдѣланнымъ центромъ и съ большимъ діаметромъ кривизны. Такая стеклянная чечевица касается плоскости стеклянной пластинки только въ одномъ мѣстѣ, и вокругъ этого мѣста находится въ равныхъ разстояніяхъ отъ пластинки; и это разстояніе можно измѣрить съ величайшей точностью. Если въ пространство между этими стеклышками помѣстить жидкость, напр. воздухъ, воду, спиртъ, то они наполняютъ это пространство и образуютъ какъ-бы концентрическія кольцеобразныя пластинки, толщина которыхъ измѣняется кнаружи отъ центра: эти-то пластинки и являются окруженныя цвѣтами. Какъ ни точенъ и остроуменъ былъ способъ Ньютона, какой онъ употреблялъ при этихъ опытахъ, однако онъ не можетъ считаться удовлетворительнымъ

кихъ пластинокъ естественные цвѣта тѣлъ. Но несмотря на такія ошибки въ его теоретическихъ соображеніяхъ объ этомъ предметѣ, онъ все-таки сдѣлалъ относительно его важный шагъ впередъ. Онъ ясно показалъ, что когда толщина пластинки составляетъ $^1/_{178000}$-ю вершка, или въ 3, 5, 7... разъ болѣе, тогда являются свѣтлыя кольца; темныя же кольца являются тогда, когда толщина пластинки имѣетъ величину, промежуточную между указанными. Онъ нашелъ также *), что толщина, дающая красный цвѣтъ, относится къ толщинѣ, дающей фіолетовый, какъ 14 къ 9, и что промежуточные цвѣта естественно соотвѣтствуютъ промежуточнымъ толщинамъ, и такимъ образомъ въ его аппаратѣ, состоящемъ изъ двухъ чечевицъ, сложенныхъ вмѣстѣ, они являлись кольцами, отдѣленными одно отъ другаго. Его опытъ, подтверждающій это положеніе и показывающій на этомъ аппаратѣ, какъ различно окрашивается однородный цвѣтъ, поразителенъ и очень красивъ. «Очень пріятно,» говоритъ онъ, «видѣть, какъ кольца постепенно расширяются и сжимаются по мѣрѣ того, какъ измѣняется цвѣтъ свѣта».

объясненіемъ этихъ явленій, т. е. цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ; и даже его объясненіе цвѣтныхъ колецъ оказалось недостаточнымъ послѣ того, какъ было доказано, что свѣтъ, отразившійся отъ верхней поверхности такой кольцеобразной пластинки, значитъ свѣтъ, не перешедшій или не передавшійся чрезъ среду, такъ же существенно участвуетъ въ произведеніи этого явленія, какъ и свѣтъ, прошедшій черезъ нее. (Пр. Литтрова.)

*) *«Оптика»* Ньютона, стр. 184.

Нѣтъ необходимости входить далѣе въ подробности этихъ явленій и говорить о кольцахъ, видимыхъ при передачѣ свѣта, и другихъ обстоятельствахъ. Важный шагъ, сдѣланный Ньютономъ въ этомъ предметѣ, состоитъ въ томъ, что онъ показалъ, что лучи свѣта въ этихъ опытахъ при переходахъ черезъ тонкія пластинки, подвергаются извѣстнымъ періодическимъ измѣненіямъ, періоды которыхъ занимаютъ упомянутую $^{1}/_{178000}$ долю вершка и разстоянія между періодами различны для различныхъ цвѣтовъ. Хотя Ньютонъ самъ не могъ опредѣлить точно условій, отъ которыхъ зависитъ періодическій характеръ этихъ явленій, однако его открытіе, что такой періодическій характеръ существуетъ при нѣкоторыхъ условіяхъ, должно было имѣть и имѣло существенное и благотворное вліяніе на послѣдующій прогрессъ Оптики въ ея стремленіи къ связной и всеобнимающей теоріи.

Мы должны излагать теперь этотъ прогрессъ; но прежде чѣмъ мы приступимъ къ этому дѣлу, мы кратко укажемъ на рядъ оптическихъ явленій, которыя были собраны наблюдателями и которыя ждали только здравой теоріи, чтобы она показала въ нихъ тотъ законъ и порядокъ, который напрасно искало одно только наблюденіе безъ теоріи.

ГЛАВА VIII.

Попытка къ открытію законовъ другихъ явленій.

Явленія, происходящія отъ комбинаціи даже самыхъ простыхъ оптическихъ фактовъ, чрезвычайно сложны. Теорія, извѣстная въ настоящее время, съ удивительной точностью объясняетъ эти сложныя и запутанныя явленія и указываетъ законы, приводящіе въ порядокъ эту кажущуюся запутанность; а безъ этого ключа къ подобнымъ тайнамъ едвали было бы возможно найти въ нихъ какое-нибудь правило или порядокъ. Предпріятіе подобнаго рода было бы похоже на то, еслибы кто-нибудь захотѣлъ открыть всѣ неравенства въ движеніяхъ луны безъ помощи ученія о тяготѣніи. Мы здѣсь укажемъ нѣкоторыя явленія этого рода, которыми занимались и затруднялись дѣятели оптики.

Цвѣтная кайма вокругъ тѣни освѣщеннаго предмета есть самое любопытное и замѣчательное явленіе этого рода. Въ первый разъ оно было замѣчено Гримальди (1665), и онъ объяснялъ его свойствомъ свѣта, ко-

тороe онъ назвалъ *Диффракціей* *). Если въ темную комнату черезъ маленькое отверстіе пропустить лучъ свѣта и держать въ этомъ свѣтѣ тонкую проволоку, то тѣнь отъ этой проволоки на извѣстномъ разстояніи кажется больше, чѣмъ слѣдовало бы ей быть вслѣдствіе прямолинейнаго распространенія свѣта, и притомъ эта тѣнь окружена съ обѣихъ сторонъ цвѣтной каймой. Въ 1672 г., Гукъ сообщилъ подобныя наблюденія Королевскому Обществу «какъ новое свойство свѣта, о которомъ не говорилъ ни одинъ писатель по оптикѣ»; — изъ чего видно, что онъ ничего не зналъ объ опытахъ Гримальди. Ньютонъ въ своей оптикѣ занимался этимъ явленіемъ и приписывалъ его инфлекціи свѣта. Онъ спрашиваетъ (Quaest. 3): «лучи свѣта, проходя мимо концовъ и сторонъ тѣла, не сгибаются ли нѣсколько разъ взадъ и впередъ, подобно движеніямъ угря? И три окрашенныя каймы около тѣни не происходятъ ли отъ трехъ подобныхъ движеній?» Странно, какъ Ньютонъ не замѣтилъ, что такимъ способомъ невозможно объяснить фактовъ и выразить законъ ихъ; потому что свѣтъ, производящій эти каймы, долженъ по такой теоріи и за темнымъ тѣломъ распространяться по кривымъ, а не по прямымъ линіямъ. Поэтому всѣ, принявшіе инфлексію Ньютона, неизбѣжно впадали въ ошибки, какъ только хотѣли точнѣе и ближе приложить это явленіе къ фактамъ. Это напр. случилось съ Брумомъ, который сдѣлалъ подобную попытку въ 1796 году въ «Philo-

*) «Physico-Mathesis, de Lumine, Coloribus et Iride». Bologna, 1665.



sophical Transactions». Тоже должно сказать и о другихъ экспериментаторахъ, напр. Меранѣ *) и Дюфурѣ **), которые старались объяснить это явленіе тѣмъ, что предполагали особую атмосферу около непрозрачныхъ тѣлъ. Другіе ученые, какъ напр. Маральди †) и Компаретти ††) только повторяли и различнымъ образомъ видоизмѣняли эти попытки.

Ньютонъ замѣтилъ извѣстныя кольца, производимыя стеклянными зеркалами, назвалъ ихъ «цвѣтами толстыхъ пластинокъ» и пытался связать ихъ съ цвѣтами тонкихъ пластинокъ. Но его аргументація неудовлетворительна; хотя долгое время послѣ этого обыкновенно смотрѣли на это явленіе какъ на особенный случай, въ которомъ уже упомянутыя «расположенія» свѣта (малые періоды или циклы въ движеніяхъ свѣта) проходятъ гораздо большее пространство по длинѣ луча. Другія лица, повторявшія эти опыты, смѣшали ихъ съ внѣшними явленіями совершенно другаго рода, напр. герцогъ де-Шонь, покрывавшій свое зеркало муслиномъ ♌), и Гершель, посыпавшій его пудрой ♄). Цвѣта, произведенные муслиномъ, относятся къ явленіямъ, производимымъ мелкими сѣтками; впослѣдствіи, когда уже составлена была теорія свѣта, они были удовлетворительно объяснены Фрауэнгоферомъ.—Слѣдуетъ также упомянуть здѣсь о цвѣ-

*) «Mém. de Paris». 1738. **) «Mém. Présentés», vol. V.
†) «Mém. de Paris». 1723.
††) «Observationes Optical. de Luce Inflexa et Coloribus». Padua, 1787.
♌) Duc de Chaulnes, «Mém. de Paris». 1755.
♄) «Philos. Trans». 1807.

тахъ, которые являются на поверхностяхъ съ тонкими полосками, напр. на перламутрѣ, на перьяхъ и подобныхъ тѣлахъ. Эти послѣднія явленія были наблюдаемы разными физиками (Бойль, Мазасъ, лордъ Брумъ); но ихъ наблюденія въ этомъ періодѣ были только разрозненными и неподведенными подъ законъ фактами.

ГЛАВА IX.

Открытіе законовъ двойной поляризаціи свѣта.

Кромѣ упомянутыхъ запутанныхъ случаевъ, гдѣ цвѣта производятся обыкновеннымъ свѣтомъ, открыты были еще другіе случаи, гдѣ поляризованный свѣтъ производитъ періодическіе цвѣта. Случаи послѣдняго рода были многочисленны. Въ августѣ 1811 г. Араго сообщилъ французскому Институту извѣстіе о цвѣтахъ, которые онъ получалъ, заставивъ поляризованный свѣтъ проходить чрезъ слюду и разложивъ его посредствомъ призмы изъ исландскаго шпата *). Замѣчательно, что лучъ, производящій въ этомъ случаѣ цвѣта, поляризованъ облаками; и этой причины поляризаціи до сихъ поръ еще не знали. Дѣйствіе, которое такимъ образомъ производитъ слюда, назвали Деполяризаціей; но

*) Эта призма изъ исландскаго шпата производитъ цвѣта тѣмъ, что идущій чрезъ нее поляризованный лучъ она раздѣляетъ по законамъ двойнаго преломленія; поэтому и говорятъ, что она разлагаетъ лучъ.



это выраженіе не точно, потому что дѣйствіе, производимое на свѣтъ слюдой, состоитъ не въ уничтоженіи поляризаціи, но въ соединеніи новаго поляризующаго вліянія съ прежнимъ. Поэтому предложено было другое названіе: Двойная Поляризація, которое выражаетъ дѣло точнѣе. Много другихъ любопытныхъ явленій въ томъ же родѣ было замѣчено въ кварцѣ и флинтгласѣ. Араго не въ состояніи былъ подвести эти явленія подъ законы; но онъ былъ вполнѣ убѣжденъ въ важности ихъ и открытіе ихъ считалъ важнымъ шагомъ въ этой части оптики. «Бартолину мы обязаны знаніемъ двойнаго преломленія; Гюйгенсу знаніемъ того, что оно сопровождается поляризаціей; Малюсу знаніемъ поляризаціи чрезъ отраженіе, а Араго мы обязаны открытіемъ двойной поляризаціи». Въ тоже время и Брьюстеръ занимался изслѣдованіями подобнаго рода, и сдѣлалъ подобныя открытія, хотя уже послѣ открытій Араго, но ничего не зная объ нихъ. Сочиненіе Брьюстера «Treatise on New Philosophical Instruments», напечатанное въ 1813 г., заключаетъ въ себѣ много любопытныхъ опытовъ надъ минералами, имѣющими свойство производить двойную поляризацію. Оба эти наблюдателя замѣтили перемѣны цвѣтовъ, происходящія вслѣдствіе перемѣнъ въ положеніи луча. также какъ измѣненія цвѣтовъ въ двухъ противоположно поляризованныхъ изображеніяхъ; а Брьюстеръ открылъ кромѣ того, что въ топазѣ эти явленія имѣютъ опредѣленное отношеніе къ линіямъ, которыя онъ назвалъ нейтральными и деполяризующими осями. Біо старался подвести эти явленія подъ законъ и нашелъ, что въ пластинкахъ изъ сѣрнокислой извести мѣсто

получаемаго цвѣта, если его считать по скалѣ Ньютона (смотри выше, глава VII), пропорціонально квадрату синуса наклоненія. Но законы этихъ явленій стали болѣе очевидными, когда Брьюстеръ сталъ наблюдать эти явленія съ болѣе широкимъ взглядомъ *). Онъ нашелъ, что цвѣта топаза при описываемыхъ здѣсь условіяхъ являются въ видѣ эллиптическаго кольца, перерѣзываемаго черными линіями, и такимъ образомъ представляютъ собой «самое блестящее явленіе во всей оптикѣ», какъ онъ справедливо замѣчаетъ. Въ 1814 г. Волластонъ открылъ, что подобныя же кольца съ чернымъ крестомъ происходятъ при подобныхъ условіяхъ и въ полевомъ шпатѣ. Такое же наблюденіе сдѣлалъ и Біо въ 1815 г. Кольца во многихъ изъ этихъ случаевъ были тщательно измѣрены Біо и Брьюстеромъ. Кромѣ того они открыли много другихъ явленій въ этомъ родѣ, къ которымъ прибавили много другихъ открытій и другіе ученые, какъ напр. Зебекъ и сэръ Джонъ Гершель.

Брьюстеръ въ 1818 г. открылъ общее отношеніе между кристаллической формой и оптическими свойствами тѣлъ,—что̀ дало сильный толчекъ и большую ясность изслѣдованіямъ объ этомъ предметѣ. Онъ нашелъ, что существуетъ отношеніе или соотвѣтствіе между степенью симметріи оптическихъ явленій и кристаллической формой; именно, что кристаллы одноосные въ кристаллическомъ смыслѣ, одноосны также и въ ихъ оптическихъ свойствахъ и даютъ круговыя кольца, а тѣ кристаллы, которые имѣютъ другія формы

---

*) «Phil. Trans». 1814.

и вообще называются двуосными, даютъ овальныя, или узловатыя, изохроматическія линіи съ двумя полюсами. Такимъ образомъ онъ открылъ правило опредѣляющее, какой цвѣтъ и какова напраженность его въ каждой точкѣ въ подобныхъ случаяхъ, и такимъ образомъ объяснилъ эмпирически различныя формы цвѣтныхъ кривыхъ линій. Этотъ законъ, упрощенный Біо *), опредѣляетъ, что цвѣтъ и интенсивность пропорціональны произведенію разстояній точекъ отъ двухъ полюсовъ. Въ слѣдующемъ году Джонъ Гершель подтвердилъ этотъ законъ, показавъ точными измѣреніями, что кривая изъ хроматическихъ линій въ этихъ случаяхъ есть та кривая, которая называется лемниската, и въ которой произведеніе разстоянія каждой изъ ея точекъ отъ обоихъ полюсовъ ея равно постоянной величинѣ **). Такъ же онъ подвелъ подъ правило нѣсколько другихъ кажущихся аномалій въ явленіяхъ этого рода.

Біо нашелъ правило, опредѣляющее направленіе плоскостей поляризаціи двухъ лучей, производимой двойнымъ преломленіемъ въ двуосныхъ кристаллахъ, и это обстоятельство имѣло связь съ явленіями двойной поляризаціи. Это правило говоритъ, что одна плоскость поляризаціи пересѣкаетъ пополамъ уголъ наклоненія, образуемый двумя плоскостями, проходящими чрезъ оптическія оси кристалла, тогда какъ другая плоскость поляризаціи перпендикулярна къ одной изъ этихъ плоскостей. Когда впослѣдствіи Френель открылъ теоретически истинные законы двойнаго преломленія, то

*) «Mém. Inst.» 1818. 192. **) «Phil. Trans.» 1819.



оказалось, что это правило не точно, но въ такой незначительной степени, что подобная неточность едва могла быть открыта одними наблюденіями безъ помощи теоріи *).

Были еще и другіе классы оптическихъ явленій, обратившіе на себя вниманіе ученыхъ, въ особенности тѣ явленія, которыя обнаруживаются въ пластинкахъ кварца, вырѣзанныхъ перпендикулярно ихъ оси. Араго замѣтилъ въ 1811 г., что это вещество отклоняетъ плоскость поляризаціи вправо или влѣво, что величина этого отклоненія различна для различныхъ цвѣтовъ. Это явленіе впослѣдствіи было приписано особенному видоизмѣненному состоянію свѣта, отличному отъ обыкновеннаго и отъ поляризованнаго свѣта и названному впослѣдствіи круговой поляризаціей. Джонъ Гершель имѣлъ настолько счастія и проницательности, что открылъ, что этотъ особый родъ поляризаціи въ кварцѣ находится въ связи съ извѣстной особенностью въ кристаллизаціи этого минерала. Трапецеобразныя пластинки вокругъ кристалла расположены наклонно, и въ нѣкоторыхъ экземплярахъ это наклонное расположеніе идетъ слѣва направо, а въ другихъ справа налѣво. Дж. Гершель нашелъ, что, соотвѣтственно этому расположенію, перваго рода кристаллы производятъ отклоненіе плоскости поляризаціи вправо, а втораго—влѣво.

Въ 1815 г. Біо, занимаясь изслѣдованіями о круговой поляризаціи, пришелъ къ неожиданному и любопытному открытію, что этимъ свойствомъ, которое

*) Френель, *Mém. Inst.* 1827. 162.



повидимому, зависѣло отъ кристаллической структуры тѣла, обладаютъ однако и многія жидкости, и притомъ въ разныхъ жидкостяхъ отклоненіе плоскости поляризаціи различно. Терпентинное масло и лавровое масло вращаютъ плоскость поляризаціи влѣво, лимонное же масло, сахарный сиропъ и растворъ камфоры даютъ вращеніе вправо. Вскорѣ послѣ этого подобное же открытіе совершенно независимо отъ Біо было сдѣлано Зебекомъ въ Берлинѣ.

Нечего и говорить, что всѣ эти блистательныя открытія не могли быть достаточно изслѣдованы и законы ихъ не могли быть открыты, еслибы нѣкоторые философствующіе естествоиспытатели не сдѣлали попытокъ подвести всѣ эти явленія подъ одну какую-нибудь обширную и глубокую теорію. Попытки такого рода подняться отъ знаній и наблюденій изложенныхъ нами до общей теоріи свѣта дѣлались почти во всѣ періоды, и въ послѣднее время увѣнчались полнымъ успѣхомъ.

Мы пришли теперь къ тому пункту, на которомъ мы должны излагать исторію этой теоріи; здѣсь мы переходимъ отъ законовъ явленій къ ихъ причинамъ, отъ формальной оптики къ физической. Волнообразная теорія свѣта есть единственное открытіе, которое можетъ стать наряду съ теоріей о всеобщемъ тяготѣніи, какъ по своей общности, такъ по своей плодотворности и несомнѣнности; вслѣдствіе этого и объ немъ мы будемъ говорить съ той же подробностью и торжественностью, съ какой мы говорили о томъ великомъ астрономическомъ открытіи. Такимъ образомъ какъ въ астрономическомъ отдѣлѣ этого сочине-

нія, такъ и здѣсь мы будемъ говорить о приготовительномъ періодѣ къ этой эпохѣ, о самой эпохѣ и о слѣдствіяхъ ея.

(2-е изд.) [Въ началѣ этой главы мнѣ слѣдовало бы сказать, что деполяризація бѣлаго свѣта была открыта Малюсомъ въ 1811 г. Онъ нашелъ, что лучъ свѣта, поляризованный и потому не могущій отражаться отъ расположенной извѣстнымъ образомъ отражающей поверхности, снова получаетъ способность отражаться, если его пропустить чрезъ нѣкоторые кристаллы и другія прозрачныя тѣла. Малюсъ имѣлъ намѣреніе продолжать изслѣдованія объ этомъ предметѣ, но они были прерваны его смертію 7 февраля 1812 г. Около этого же времени Араго объявилъ о своемъ важномъ открытіи деполяризаціи цвѣтовъ посредствомъ кристалловъ.

Къ тому, что сказано уже объ открытіяхъ Біо относительно круговой поляризаціи, производимой жидкостями, я могу прибавить, что при его дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ объ этомъ предметѣ, онъ открылъ нѣкоторыя весьма любопытныя отношенія между составными элементами тѣлъ. Нѣкоторыя вещества, какъ напримѣръ тростниковый сахаръ, производятъ отклоненіе плоскости поляризаціи вправо, а другія, какъ напримѣръ аравійская камедь, производятъ отклоненіе влѣво и это молекулярное дѣйствіе не измѣняется отъ растворенія этихъ веществъ. Такимъ образомъ оказалось, что извѣстное вещество добываемое изъ нѣкоторыхъ плодовъ, о которомъ, прежде полагали, что оно есть камедь и которое при обрабатываніи его кислотами превращается въ сахаръ, не есть камедь; потому что

имѣетъ способность сильно отклонять плоскость поляризаціи вправо. Это вещество Біо назвалъ декстриномъ и показалъ, что оно производитъ много въ высшей степени любопытныхъ и важныхъ дѣйствій.]

Пояснительныя дополненія, составленныя Литтровомъ.

§ 1. Теорія истеченія.

По теоріи истеченія свѣтъ есть особаго рода матерія, которая вытекаетъ изъ свѣтящихся тѣлъ во всѣ стороны. При этомъ принималось, что движеніе каждой отдѣльной свѣтовой частички какъ въ пустомъ пространствѣ, такъ и во всякой однородной средѣ совершается по прямымъ линіямъ, которыя называются свѣтовыми лучами. Эти частички свѣтоваго вещества подчинены законамъ инерціи, но не подлежатъ дѣйствію тяжести и по своему объему чрезвычайно малы и тонки; потому что иначе, какъ говорятъ защитники этой теоріи, нельзя было бы видѣть чрезъ маленькое отверстіе такое множество предметовъ въ одно время, и потому что тогда эти частички не могли бы безпрепятственно распространяться черезъ прозрачныя тѣла. Еще меньше и незначительнѣе должна быть масса или плотность этихъ свѣтовыхъ частичекъ; потому что, несмотря на удивительную скорость ихъ (42,000 нѣм. миль въ каждую секунду), въ фокусѣ самыхъ большихъ собирающихъ зеркалъ, гдѣ встрѣ-

чается вмѣстѣ и въ одно время множество свѣтовыхъ лучей, мы не видимъ ничего, по чему бы мы могли судить о замѣтномъ движеніи. Судя по этой громадной скорости свѣтовыхъ частичекъ въ связи съ продолжительностью впечатлѣнія, оставляемаго ими въ нашемъ глазѣ, можно думать, что эти отдѣльныя свѣтовыя частички луча отдѣлены одинъ отъ другаго громадными промежутками, можетъ быть во 100 миль.

Напряженность свѣта по этой теоріи есть простое слѣдствіе накопленія свѣтовыхъ частичекъ въ одномъ пунктѣ. Чтобы объяснить различные цвѣта, замѣчаемые въ солнечныхъ лучахъ, какъ они напримѣръ разлагаются призмой, предполагалось, что свѣтовыя частички могли имѣть различныя массы и даже различный видъ. Для объясненія поляризаціи предполагалась въ каждой свѣтовой частичкѣ извѣстная ось ея дѣйствія; такъ что вслѣдствіе поляризаціи эти оси различныхъ свѣтовыхъ частичекъ принимаютъ совпадающія или по крайней мѣрѣ правильно измѣняющіяся положенія. Первое изъ этихъ предположеній принимается для прямолинейной, а второе для круговой и эллиптической поляризаціи. Изъ этихъ представленій собственно и произошло названіе поляризаціи; такъ какъ на конечныя точки осей свѣтовыхъ частичекъ смотрѣли какъ на полюсы этихъ частичекъ. Послѣ того какъ открыто было двойное преломленіе свѣтовыхъ лучей во многихъ кристаллахъ, для объясненія этого явленія принимали особенныя силы, проистекающія изъ оптическихъ осей этихъ кристалловъ. Для объясненія интерференціи прибѣгали къ другимъ весьма запутаннымъ законамъ притяженія и отталкиванія, ко-

торымъ будто-бы подчинены свѣтовыя частички, а для объясненія періодическихъ цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ приписывали свѣту стремленіе къ быстрому прохожденію чрезъ тѣла. Наконецъ для объясненія цвѣтныхъ явленій кристаллическихъ тѣлъ въ поляризованномъ свѣтѣ или такъ-называемой деполяризаціи, придумали еще особенное движеніе свѣтовыхъ частичекъ около центра ихъ массъ, на основаніи чего и составлена была гипотеза Біо о такъ-называемой подвижной поляризаціи.—Но всѣ эти фикціи или предположенія не достигали цѣли, не объясняли наблюдаемыхъ явленій, и почти каждый день оказывалась надобность дѣлать прибавки къ прежнимъ и безъ того уже многосложнымъ и запутаннымъ построеніямъ.

Эта теорія истеченія въ главныхъ своихъ чертахъ была составлена Ньютономъ, ревностно поддерживалась и защищалась его многочисленными послѣдователями и въ новѣйшее время была особенно подробно развита Біо.

§ 2. Теорія волнообразныхъ движеній или ондуляцій.

Эта теорія предполагаетъ существованіе особаго наполняющаго все міровое пространство и внутренность тѣлъ вещества, эѳира, которое составляетъ матеріальное основаніе явленій свѣта. Частички эѳира отталкиваютъ другъ друга, а можетъ быть и притягиваютъ, такъ же точно, какъ и части другихъ тѣлъ отталкиваютъ или притягиваютъ ихъ. Эти притягивающія и отталкивающія силы эѳира, когда въ немъ не происходятъ свѣтовыя явленія, находятся въ состояніи

устойчиваго равновѣсія. Въ самосвѣтящихся тѣлахъ малѣйшія частички, изъ которыхъ они состоятъ, находятся въ вибрирующихъ движеніяхъ, вслѣдствіе которыхъ нарушается равновѣсіе прилегающаго къ нимъ эѳира, который самъ приходитъ въ состояніе вибрацій, доходящихъ до нашего глаза и вызывающихъ въ немъ ощущеніе свѣта.

Что эта теорія просто и удовлетворительно объясняетъ всѣ извѣстныя доселѣ явленія свѣта, это мы увидимъ ниже.

Эта теорія была составлена Декартомъ, впрочемъ въ самомъ неопредѣленномъ видѣ; въ главныхъ чертахъ ее развилъ Гюйгенсъ, а Эйлеръ принялъ ее подъ свою защиту и развилъ еще далѣе. Въ наше время Юнгъ, Френель, Айри, Гамильтонъ, Нейманъ, Коши и др. довели эту теорію до состоянія, почти близкаго къ совершенству.

Исторія этихъ двухъ гипотезъ есть почти исторія всей оптики. Гипотеза истеченій была развита первыми учеными по этой наукѣ и долгое время держалась между ихъ преемниками, пока наконецъ въ наше время она не была отвергнута умножавшимися наблюденіями и воззрѣніями и совершенно оставлена, какъ несостоятельная, чтобы уступить мѣсто другому ученію, теоріи волнообразныхъ движеній, такъ долго и горячо оспариваемой. Эта послѣдняя теорія во время своего перваго появленія и даже спустя почти два столѣтія послѣ едва удостоивалась вниманія ученыхъ и вспоминалась только какъ замѣчательный примѣръ запутанности въ воззрѣніяхъ, какая встрѣчается даже у такихъ высокихъ талантовъ, какъ Гюйгенсъ и Эйлеръ.

Но какъ только признана была ея важность и какъ только увидѣли возможность объяснить его наблюденія, то она распространилась и развилась съ удивительной быстротой, въ теченіе немногихъ лѣтъ изъ своего дѣтскаго состоянія достигла мужественнаго возраста, такъ что въ настоящее время она представляется образцомъ физической теоріи и въ ряду естественныхъ наукъ занимаетъ одно изъ высшихъ мѣстъ.

§ 3. Сравненіе достоинства обѣихъ гипотезъ.

Уже съ самаго начала противъ теоріи волнообразныхъ движеній представляли то возраженіе, что по этой теоріи невозможна была бы тѣнь, такъ какъ, подобно тому, какъ звучащее тѣло слышится даже и за стѣной, такъ и свѣтящее тѣло должно было быть видимо даже и тогда, когда между нимъ и глазомъ находится непрозрачное тѣло. Но это возраженіе основывается на неправильномъ пониманіи дѣла. Мы увидимъ ниже (въ примѣчаніи, въ концѣ X главы), что длина свѣтовыхъ волнъ несравненно меньше, чѣмъ длина звуковыхъ волнъ. Изъ этого слѣдуетъ, что распространеніе свѣтовыхъ волнъ, если онѣ даже проходятъ черезъ весьма маленькое отверстіе, совершается только въ прямолинейномъ направленіи, между тѣмъ какъ гораздо большія звуковыя волны стѣнками такого отверстія разсѣеваются во всѣ стороны. Другое возраженіе противъ теоріи волнообразныхъ движеній состояло въ томъ, что предполагаемый ею эѳиръ долженъ былъ бы оказывать сопротивленіе движеніямъ планетъ, между тѣмъ наблюденія до сихъ поръ не

показали ни малѣйшаго слѣда подобнаго сопротивленія. Но стоитъ только вспомнить, что плотность этого эѳира для насъ совершенно незамѣтна, чтобы объяснить незамѣтность для нашихъ чувствъ сопротивленія, оказываемаго имъ на движеніе планетъ. Однако Энке въ кометѣ, названной по его имени, замѣтилъ ускореніе ея средняго движенія, которое онъ съ большой вѣроятностью приписываетъ дѣйствію эѳирной среды, которое бы навсегда осталось незамѣтнымъ для насъ въ своемъ вліяніи на гораздо плотнѣйшія планеты. Кромѣ того и по гипотезѣ истеченія міровое пространство во всѣхъ своихъ частяхъ наполнено матеріальнымъ свѣтовымъ веществомъ, которое должно истекать изъ солнца и изъ всѣхъ многочисленныхъ неподвижныхъ звѣздъ. Если принять, что разстояніе двухъ ближайшихъ частичекъ солнечнаго луча составляетъ нѣсколько тысячъ миль, то промежутокъ между ними долженъ быть наполненъ свѣтовымъ веществомъ другихъ небесныхъ тѣлъ, милліоны которыхъ въ одно время испускаютъ изъ себя свѣтъ. Это свѣтовое вещество должно современемъ все болѣе и болѣе накопляться; потому что хотя оно и поглощается снова небесными тѣлами, однако нельзя же думать, чтобы не могло быть полнаго насыщенія имъ, и поэтому если небесныя тѣла насытятся свѣтомъ, то они должны снова испускать свѣтъ, и такимъ образомъ снова является прежняя трудность въ объясненіи. Наконецъ многія химическія дѣйствія, несогласныя съ гипотезой вибрацій, изложенныя въ концѣ X главы этого сочиненія, все-таки объясняются по этой теоріи гораздо лучше, чѣмъ по теоріи истеченія. Араго сдѣлалъ открытіе,

что на хлористомъ серебрѣ, на которое падаетъ спектръ, вслѣдствіе интерференціи въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ лежатъ темныя линіи, не происходитъ почерненія серебра. Это вполнѣ согласно съ волнообразной теоріей; такъ какъ тамъ, гдѣ нѣтъ движенія, не можетъ быть свѣта и, стало быть, не можетъ быть и дѣйствія, производимаго свѣтомъ, т. е. почерненія. Но по теоріи истеченія на этихъ темныхъ мѣстахъ сходятся свѣтовыя частички и потому онѣ должны бы производить тѣмъ большее химическое дѣйствіе, чѣмъ больше ихъ здѣсь находится. Приверженцы истеченія стараются устранить это возраженіе предположеніемъ химическаго сродства свѣта къ различнымъ тѣламъ, т. е. новой гипотезой, которая должна стоять наряду съ упомянутыми выше расположеніями свѣта къ легкимъ колебаніямъ. Пока въ оптикѣ извѣстны были только обыкновенныя явленія преломленія и отраженія свѣта, до тѣхъ поръ гипотеза истеченія представляла еще достаточныя средства для объясненія, хотя и здѣсь предполагаемыя гипотетическія силы, которыя дѣйствуютъ только на малѣйшихъ разстояніяхъ отъ тѣлъ и притомъ, смотря по надобности гипотезы, то притягивающимъ, то отталкивающимъ образомъ, кажутся въ высшей степени произвольными и проблематическими. Но эта гипотеза является совершенно недостаточной и неподходящей, когда ее стараются примѣнить къ объясненію инфракціи и интерференціи свѣта, которыхъ она не можетъ объяснить никакими средствами, какъ мы это увидимъ ниже (гл. XI, § 3, примѣч.)

§ 4. Подробное объясненіе вибрацій эѳира.

Сначала предполагали, что распространеніе свѣта въ прозрачныхъ тѣлахъ совершается по тѣмъ же законамъ и вычисленіямъ, которые даетъ механика для распространенія сотрясеній, совершающихся въ водѣ или въ воздухѣ. Но въ новѣйшее время узнали, что эти вычисленія основаны на предположеніяхъ, которыя уже не имѣютъ мѣста, если смотрѣть на эѳиръ какъ на систему матеріальныхъ частичекъ, которыя дѣйствуютъ другъ на друга притягивающими и отталкивающими силами, и что распространеніе потрясенія, которое производитъ только небольшое измѣненіе въ относительномъ положеніи частичекъ среды, совершается по одинаковымъ законамъ, будетъ ли имѣть эта среда твердую или жидкую форму. Аналитическое изслѣдованіе этого предмета показываетъ, что въ совокупности матеріальныхъ частичекъ, удерживаемыхъ молекулярными силами, могутъ распространяться только извѣстнаго рода движенія, и что вообще каждая отдѣльная форма этихъ движеній, пока не происходитъ никакихъ измѣненій въ свойствѣ среды, распространяется равномѣрно собственной скоростью. Эта скорость имѣетъ или одинаковую величину по всѣмъ направленіямъ, какъ напр. въ эѳирѣ, находящемся въ свободныхъ пространствахъ, или въ эѳирѣ заключенномъ внутри некристаллическихъ тѣлъ, или же она зависитъ отъ каждаго особеннаго направленія движенія, какъ напримѣръ въ эѳирѣ, заключенномъ въ большей части кристалловъ. Въ первомъ случаѣ среда во всѣхъ направленіяхъ имѣетъ

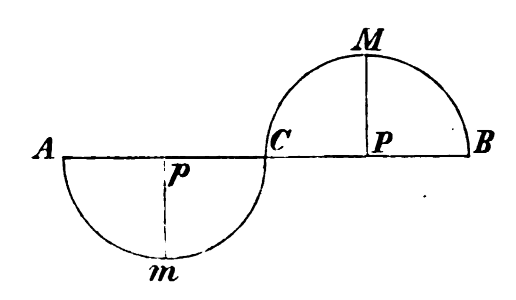
одинаковую эластичность, во второмъ же эластичность ея бываетъ различна и зависитъ отъ ея направленій. Если отъ той точки среды, въ которой произошло первоначальное сотрясеніе эѳира, провести по всѣмъ направленіямъ прямыя линіи, то тѣ точки этихъ линій, въ которыхъ сотрясеніе среды происходитъ въ одно и тоже время, лежатъ въ кривой плоскости, которая называется плоскостью волны. Эта плоскость постепенно расширяется, но всегда остается подобной себѣ.

Волнообразныя сотрясенія, происходящія въ частичкахъ эѳира, можно раздѣлить на два класса; именно, они бываютъ продольными, если сотрясенія частичекъ совершаются по длинѣ того направленія, въ которомъ распространяется вся волна, и поперечными, если они лежатъ въ плоскости перпендикулярной къ направленію распространенія волны и въ этой плоскости описываютъ различные пути. Первыя состоятъ въ смѣняющихся сгущеніяхъ и разрѣженіяхъ эѳира, между тѣмъ какъ послѣднія не связаны ни съ какимъ замѣтнымъ измѣненіемъ его плотности. Поперечныя сотрясенія достаточны для того, чтобы объяснить всѣ извѣстныя доселѣ оптическія явленія; продольныя же или вовсе не возникаютъ во многихъ случаяхъ, или же по крайней мѣрѣ они не производятъ никакого замѣтнаго измѣненія въ дѣйствіяхъ свѣта.

При изслѣдованіи этихъ движеній нужно главнымъ образомъ имѣть въ виду сложеніе и разложеніе качаній эѳирныхъ частичекъ. Изъ основнаго уравненія вытекаетъ слѣдствіе, что если двѣ или многія формы движеній доходятъ до одной эѳирной частички, то сама она принимаетъ то именно движеніе, какое происхо-

дитъ изъ сложенія отдѣльныхъ движеній, и наоборотъ каждая форма качанія такой частички можетъ быть представлена какъ результатъ совокупнаго существованія тѣхъ движеній, на которыя можно разложить движеніе частички и которыя, взятыя отдѣльно, могли бы распространяться сами собой въ эѳирѣ *). Вслѣдствіе этого чрезвычайно запутанныя аналитическія из-

*) Чтобы представить себѣ это яснѣе, вообразимъ прямую линію *AB*, которая въ точкѣ *C* раздѣлена на двѣ



равныя части. Поперечникомъ равнымъ половинѣ этой линіи описывается одинъ полукругъ подъ *AC*, а другой надъ *BC*; берутся отъ точки *C* по обѣ стороны на линіи *AB* два разстоянія *CP* по направленію отъ *C* къ *B* и *Cp* по направленію отъ *C* къ *A*, и наконецъ изъ обѣихъ этихъ точекъ *Pp* ставятъ перпендикуляры на линіи *AB*, которые пересѣкаютъ окружности полукруговъ въ точкахъ *M* и *m*.

Предположимъ теперь, что цѣлая эѳирная волна распространяется по направленію продолженной прямой линіи *AB* отъ *A* къ *B*. Въ это время эѳирная частичка будетъ двигаться взадъ и впередъ отъ точки *A* до точки *B*, или по направленію той же прямой *AB*, или же по направле-

слѣдованія сводятся къ разсмотрѣнію этихъ простыхъ вибрацій совершенно также, какъ въ механикѣ дви-

---

нію кривой линіи *AmCMB*; въ первомъ случаѣ она около точки покоя или равновѣсія *C* дѣлаетъ продольныя качанія, а во второмъ—поперечныя. Если напримѣръ эѳирная частичка по выходѣ своемъ изъ точки *C* по направленію отъ *C* къ *B* придетъ въ точку *P* или *M*, то она здѣсь, вслѣдствіе дѣйствія сосѣднихъ частичекъ, испытываетъ нѣкоторое замедленіе, которое будетъ тѣмъ больше, чѣмъ дальше точка *P* или *M* отстоитъ отъ точки *C*, т. е. точки равновѣсія; и если наконецъ частичка придетъ въ *B*, то ея прежняя скорость, двигавшая ее отъ *A* къ *B*, вслѣдствіе вліянія противодѣйствующихъ ей сосѣднихъ частичекъ совершенно уничтожается. Но въ это же самое мгновеніе съ тою же силою она отталкивается назадъ къ *C*, и ея обратное движеніе все ускорятся, пока она не достигнетъ снова точки *C*, гдѣ скорость ея становится наибольшею, а ускоряющая ее сила другихъ сосѣднихъ частичекъ равна нулю. Затѣмъ, вслѣдствіе своей инерціи, частичка продолжаетъ свое движеніе или чрезъ *Cp*, или же чрезъ *Cm* по направленію къ точкѣ *A* и притомъ съ замедляющейся скоростью, пока наконецъ она въ точкѣ *A* совершенно не потеряетъ свою скорость, и затѣмъ снова начинаетъ ускоряющсеся движеніе отъ *A* къ *C* по тому же закону, который дѣйствовалъ при движеніи ея отъ *B* къ *C*. Такъ какъ $CP = Cp$ или $CM = Cm$, то частичка эѳира въ точкахъ *P* и *p* или въ точкахъ *M* и *m* имѣетъ одинаковую скорость, но только въ противоположномъ направленіи, смотря по тому, движется ли частичка отъ *A* къ *B* или назадъ, отъ *B* къ *A*. Точки *P* или *M*, въ которыхъ частичка находится въ данное мгновеніе своего пути, называются фазами качанія. Если частичка на своемъ обратномъ пути чрезъ *BA* въ точкѣ *P* имѣетъ ту же скорость, но только въ направленіи, противоположномъ тому, которое она имѣла на своемъ пути по *AB* въ точкѣ *p*,

женія по кривымъ линіямъ сводятся на два или на три простыя прямолинейныя движенія.

то говорятъ, что въ точкахъ P и p частичка находится въ противоположныхъ фазахъ. Время, которое употребляетъ частичка для того, чтобы пройти по всей длинѣ AB отъ A къ B или отъ B къ A, называется временемъ качанія, а наибольшее разстояніе CA или CB частички отъ положенія ея равновѣсія называется шириной или амплитудой качанія. Если обозначить длину волны λ, время качанія ϑ, а скорость распространенія свѣта по направленію луча v, то между этими величинами всегда существуетъ такое уравненіе

$$\lambda = v. \vartheta.$$

Если обозначить $x = CP$ разстояніе эѳирной частички отъ положенія ея равновѣсія въ концѣ извѣстнаго времени t, затѣмъ обозначить a ширину, а ϑ время качанія, то между этими величинами существуетъ простое уравненіе

$$x = a \sin (mt + b)$$

для прямолинейнаго качанія эѳирной частички, гдѣ для краткости полагается, что $m = \frac{2\pi}{\vartheta}$ и гдѣ π обозначаетъ извѣстное Лудольфово число, а b эпоху или величину угла $(mt + b)$ для $t = 0$. Если дифференцировать предшествующее уравненіе, то для скорости y эѳирной частички въ каждомъ пунктѣ ея пути получится

$$y = am \cos (mt + b).$$

Если мы для другой вибраціи, которая имѣетъ такое же время качанія, но другую ширину a' и эпоху b', примемъ аналогическое уравненіе

$$x' = a' \sin (mt + b')$$

и предположимъ, что эѳирная частичка въ одно время подвержена этимъ обоимъ качаніямъ, то для суммы ихъ $x + x'$, какъ легко видѣть, получается выраженіе

$$x + x' \text{ или } X = A \sin (mt + B),$$

Такимъ образомъ направленіе распространенія качательнаго движенія эѳира и есть то, что прежде назы-

---

если только обѣ величины A и B принимать такъ, что онѣ соотвѣтствуютъ обоимъ уравненіямъ

$$A \sin B = a \sin b + a' \sin b'$$

$$A \cos B = a \cos b + a' \cos b',$$

изъ которыхъ тотчасъ же можно вывести для A и B слѣдующія величины

$$A^2 = a^2 + a'^2 + 2aa' \cos (b - b')$$

$$\operatorname{tang} B = \frac{a \sin b + a' \sin b'}{a \cos b + a' \cos b'}.$$

Изъ этого видно, что ширина A новаго качанія, составившагося изъ двухъ качаній, можетъ быть выражена діагональю параллелограмма, стороны котораго суть a и a', если уголъ, который стороны a, a' и A образуютъ съ произвольной прямой линіей, обозначить въ томъ же порядкѣ b, b' и B.

Если принять для особаго случая, что амплитуды a и a' обѣихъ первыхъ вибрацій равны между собою, то два послѣднія уравненія переходятъ въ слѣдующія простѣйшія

$$A = 2a \cos {}^1/_2 \, (b - b')$$

$$B = {}^1/_2 \, (b + b').$$

Если для естественныхъ чиселъ $n = 0.\ 1.\ 2.\ 3\ldots$ разность $b' - b$ обѣихъ эпохъ есть непрямое кратное отъ π или если

$$b' = b - (2\pi + 1)\, n,$$

то получается, что $A = O$, или что во всѣхъ этихъ случаяхъ вовсе нѣтъ движенія и обѣ первоначальныя вибраціи взаимно уничтожаются, отчего и происходитъ интерференція свѣта. Что подобное сочетаніе возможно и для втораго изъ вышеприведенныхъ уравненій, которымъ выражается скорость y, и что вообще указанный здѣсь методъ можетъ быть приложенъ къ болѣе, чѣмъ двумъ ви-

вали лучемъ свѣта. Напряженность свѣта полагаютъ на основаніи опытовъ пропорціональной квадрату амплитуды. Однороднымъ свѣтомъ, по теоріи волнообразныхъ движеній, называется тотъ, который производится простыми качаніями. Цвѣтъ свѣта зависитъ отъ времени или быстроты качаній, и эѳирныя качанія, изъ которыхъ состоитъ свѣтъ, всѣ поперечны, т. е.

браціямъ, это ясно само собой. См. Gehler, «Phys. Wörterbuch», 2 изд. статья «Undulation».

Эти выраженія станутъ проще, если обѣ эпохи b и b' а также значитъ и B положить равными 0. Въ такомъ случаѣ, если времена фазъ t и t' различны, получается

$$x = a \sin mt \text{ и } x' = a' \sin mt'.$$

Если принять, что амплитуды a и a' этихъ обѣихъ вибрацій равны, то для амплитуды A одной общей вибраціи, сложенной изъ нихъ, получается

$$A^2 = a^2 (\sin^2 mt + \sin^2 mt').$$

Если положить теперь, что t' равно $t + {}^1/_4 \vartheta$, то $\sin mt' = \sin \frac{2\pi}{\vartheta} (t + {}^1/_4 \vartheta)$, или равно $\cos mt$, и значитъ $A = a$, или A есть для этихъ случаевъ постоянная величина. Такимъ образомъ, если эѳирная частичка въ одно время подвержена двумъ прямолинейнымъ качаніямъ одинаковой продолжительности и амплитуды, но времена фазъ которыхъ различны на $^1/_4$ времени качанія и направленіе которыхъ составляетъ прямой уголъ, то вытекающее изъ нихъ совокупное качаніе будетъ круговое, или качаніе частички совершается въ периферіи круга, поперечникъ котораго есть общая амплитуда a. Если же различіе между этими элементами болѣе или менѣе, чѣмъ $^1/_4$ времени качанія, или амплитуды ихъ не равны, тогда происходитъ качаніе эллиптическое.

перпендикулярны къ направленіямъ лучей. Обыкновенный (неполяризованный) свѣтъ есть тотъ, при распространеніи котораго эѳирныя частички описываютъ совершенно неправильные и несовпадающіе между собой пути. На него можно смотрѣть какъ на быструю смѣну сочетаній прямолинейныхъ движеній, совершающихся во всѣхъ возможныхъ направленіяхъ. Изъ предшествующаго слѣдуетъ, что такой обыкновенный свѣтъ можетъ распространяться только въ свободномъ эѳирѣ, или въ некристаллическихъ средахъ, между тѣмъ какъ большая часть кристалловъ могутъ пропускать только поляризованный свѣтъ, и такимъ образомъ проникающій въ нихъ неполязированный свѣтъ они разлагаютъ на поляризованные лучи.—(Литтровъ.)

ФИЗИЧЕСКАЯ ОПТИКА.

ГЛАВА X.

Приготовительный періодъ къ эпохѣ Юнга и Френеля.

Подъ Физической Оптикой мы разумѣемъ, какъ уже было сказано, теоріи, которыя объясняютъ оптическія явленія механическими принципами. Такія объясненія конечно были невозможны до тѣхъ поръ, пока не были установлены истинные механическіе принципы, и поэтому начало попытокъ къ составленію физической оптики относится ко временамъ Декарта, основателя новой механической философіи. По предположенію Декарта свѣтъ состоитъ изъ малыхъ частичекъ, выходящихъ изъ свѣтящихся тѣлъ. Онъ сравниваетъ эти частички съ шарами и старается, при помощи этого сравненія, объяснить законы отраженія и преломленія *).

*) Декартъ, «*Dioptrica*», c. II. 4.



Для того, чтобы объяснить происхожденіе цвѣтовъ вслѣдствіе преломленія, онъ приписываетъ этимъ шарамъ попеременное вращательное движеніе *). Эта первая форма Теоріи Истеченія была, подобно всѣмъ другимъ физическимъ воззрѣніямъ автора, поспѣшна и произвольна; но была принята и быстро распространилась подобно всѣмъ другимъ картезіанскихъ доктринамъ вслѣдствіе того расположенія, какое тогдашніе умы имѣли къ легко понятнымъ и простымъ положеніямъ и къ дедуктивнымъ выводамъ изъ нихъ. Однако вскорѣ послѣ этого возникла противоположная ей оптическая Теорія Волнообразныхъ Движеній. Гукъ въ своей «Micrographia» (1664) высказалъ ее по поводу его уже указанныхъ нами наблюденій (глава VIII) надъ цвѣтами тонкихъ пластинокъ. Здѣсь онъ утверждаетъ **), что свѣтъ состоитъ «въ быстрыхъ, короткихъ, вибрирующихъ движеніяхъ» и что онъ распространяется въ однородныхъ средахъ такимъ образомъ, что «каждый пульсъ или вибрація свѣтящагося тѣла производитъ сферическую поверхность, которая постоянно возрастаетъ и становится больше, совершенно такимъ же образомъ (хотя безконечно скорѣе), какъ волны или кольца на поверхности воды расходятся все на большіе и большіе круги, около какой-нибудь точки на ней» †). Это воззрѣніе онъ старается примѣнить къ объясненію преломленія, предполагая, что лучи въ плотнѣйшей средѣ движутся болѣе свободно, и что поэтому пульсы или вибраціи становятся на-

---

*) Декартъ, «*Meteorologia*», с. VIII. 6.

**) «Micrographia», p. 56. †) «Micrograph.» p. 57.



клонными. Эта гипотеза менѣе удовлетворительна и основательна, чѣмъ гипотеза Гюйгенса, о которой мы скоро будемъ говорить. Но заслуга Гука состоитъ въ томъ, что онъ связалъ съ своей теоріей, хотя и не совсѣмъ ясно, Принципъ Интерференціи, и именно примѣнилъ его къ объясненію цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ. Такимъ образомъ онъ предполагаетъ *), что свѣтъ отражается отъ первой поверхности такихъ пластинокъ; затѣмъ, послѣ двухъ преломленій и одного отраженія отъ второй поверхности этихъ пластинокъ, является нѣсколько слабый лучъ, который идетъ сзади перваго луча, отраженнаго отъ первой поверхности. Такъ какъ верхняя и нижняя поверхности близки между собой, и глазъ не въ состояніи различать ихъ, то этотъ сложный или двойной лучъ или пульсъ производитъ на сѣткѣ глаза ощущеніе желтаго цвѣта. Основанія происхожденія этого особеннаго свѣта въ случаѣ, о которомъ онъ говоритъ, соотвѣтствуютъ его воззрѣніямъ на форму пульсовъ, свойственныхъ каждому цвѣту, и на этомъ же основаніи онъ полагаетъ, что если толщина пластинки будетъ различна, то произойдетъ красный цвѣтъ или зеленый. Это есть весьма замѣчательное предуказаніе объясненія этихъ цвѣтовъ, сдѣланнаго впослѣдствіи; и мы можемъ замѣтить, что еслибы Гукъ могъ измѣрить толщину этихъ тонкихъ пластинокъ, то онъ сдѣлалъ бы значительный успѣхъ въ ученіи объ интерференціи.

Не смотря на это, настоящимъ основателемъ волнообразной теоріи въ разсматриваемый нами періодъ всѣ-

---

*) Ibid. p. 56.



ми, и справедливо, признается Гюйгенсъ, котораго «Traité de la lumière», содержащій въ себѣ развитіе этой теоріи, былъ написанъ въ 1678 г., а напечатанъ только въ 1690 г. Въ этомъ сочиненіи онъ утверждаетъ, подобно Гуку, что свѣтъ состоитъ изъ волнообразныхъ движеній и распространяется сферически почти также какъ и звукъ, и при этомъ онъ ссылается на наблюденія Ремера надъ спутниками Юпитера, какъ на доказательство того, что свѣтовыя движенія совершаются преемственно въ теченіе извѣстнаго времени и распространяются съ чрезвычайной быстротой. Чтобы объяснить дѣйствіе волнообразныхъ движеній или ондуляцій, Гюйгенсъ принимаетъ, что каждая точка волны распространяетъ свое движеніе во всѣхъ направленіяхъ и изъ этого выводитъ заключеніе, которое такъ долго считалось поворотной точкой въ спорѣ между двумя враждебными теоріями, что свѣтъ, прошедши чрезъ какое-нибудь отверстіе, не можетъ распространяться по сторонамъ отъ прямой линіи; «потому что», говоритъ онъ *), «хотя частныя волны, производимыя частичками, находящимися въ отверстіи, распространяются и въ стороны отъ прямолинейнаго пространства, однако эти волны нигдѣ не могутъ сойтись или встрѣтиться между собой кромѣ какъ противъ самаго отверстія». Это замѣчаніе онъ справедливо считаетъ существенно важнымъ. «Этого, говоритъ онъ, не знали тѣ, которые прежде другихъ стали разсуждать о волнахъ свѣта, какъ напр. Гукъ въ своей «Микрографіи» и Пардисъ. Послѣдній въ своемъ трактатѣ, часть котораго онъ

*) «Tracts on Optics», p. 209.

мнѣ показывалъ и котораго онъ однако не кончилъ, старался доказать на основаніи этихъ волнъ дѣйствіе отраженія и преломленія. Но главнаго основанія, которое заключается въ замѣчаніи, только что высказанномъ мною, нѣтъ въ его доказательствахъ.»

При помощи своихъ воззрѣній Гюйгенсъ совершенно удовлетворительно и вѣрно объяснилъ законы отраженія и преломленія; и эту же свою теорію примѣнилъ съ большимъ остроуміемъ и успѣхомъ къ объясненію двойнаго преломленія въ исландскомъ шпатѣ, какъ мы уже видѣли выше. Онъ принималъ, что въ этомъ кристаллѣ, кромѣ сферическихъ волнъ, могутъ быть еще другія волны сфероидальной формы и оси ихъ сфероидовъ могутъ быть симметрически расположены относительно сторонъ ромбоэдра, такъ какъ оптическія явленія располагаются симметрически относительно этихъ именно сторонъ. Онъ нашелъ *), что положеніе преломленнаго луча, опредѣляемое такими сфероидальными волнами, производитъ наклонное преломленіе, которое по своимъ законамъ совершенно согласно съ преломленіемъ, наблюдаемымъ въ исландскомъ шпатѣ; и это согласіе, какъ мы уже сказали, впослѣдствіи было подтверждено и другими наблюдателями.

Такъ какъ Гюйгенсъ уже въ этотъ ранній періодъ оптики изложилъ волнообразную теорію съ такою отчетливостію и примѣнялъ ее съ такимъ искусствомъ, то спрашивается, почему мы не считаемъ его великимъ авторомъ индукціи о волнообразныхъ движеніяхъ свѣта, лицомъ, которое составило эпоху въ этой

*) Ibid. 237.

теоріи? На это мы отвѣтимъ, что хотя Гюйгенсъ открылъ сильное основаніе въ пользу волнообразной теоріи, однако она прочно установилась только впослѣдствіи, когда цвѣтныя коймы вокругъ тѣней, правильно понятыя, сдѣлали эти волны видимыми, и когда оказалось, что гипотеза, которая была придумана для объясненія двойнаго преломленія, заключаетъ въ себѣ вмѣстѣ съ тѣмъ и объясненіе поляризаціи. Только тогда эта теорія свѣта достигла преобладающаго положенія и приняла твердый внушающій видъ, и тѣ лица, которыя сообщили ей этотъ видъ, должны занимать первое мѣсто въ нашемъ разсказѣ; хотя мы при этомъ и не отрицаемъ, что геній и заслуги Гюйгенса безспорно занимаютъ высокое мѣсто въ приготовительномъ періодѣ къ этому открытію.

Волнообразная теорія съ этихъ поръ и до нашего времени была несчастна въ своей карьерѣ. Конечно у нея всегда были защитники; но они не были наблюдателями и ни одинъ изъ нихъ не подумалъ приложить ее къ опытамъ Гримальди надъ цвѣтными коймами, о которыхъ мы говорили выше. Кромѣ того великій авторитетъ этого періода, Ньютонъ, принялъ противоположную теорію истеченій и этимъ далъ ей ходъ между своими послѣдователями, которые почти около столѣтія обращались съ пренебреженіемъ съ здравой теоріей.

Ньютонъ сначала не имѣлъ нерасположенія къ принятію эѳира, какъ среды, въ которой совершаются свѣтоносныя явленія. Когда Гукъ привелъ противъ призматическаго разложенія свѣта нѣсколько возраженій, основанныхъ на его гипотетическихъ представле-

ніяхъ, то Ньютонъ въ своемъ отвѣтѣ говорилъ *), что гипотеза Гука имѣетъ гораздо большее сродство съ его собственной теоріей, чѣмъ онъ думаетъ, и что вибраціи эѳира одинаково полезны и необходимы въ обѣихъ гипотезахъ. Это было писано въ 1672 г. и мы могли бы привести много подобныхъ же выраженій изъ сочиненій Ньютона, относящихся къ позднѣйшему времени. Такимъ образомъ кажется, что Ньютонъ считалъ гипотезу объ эѳирѣ весьма вѣроятной, а его вибраціи очень важной частью въ явленіяхъ свѣта. Но онъ уже ввелъ въ свою систему гипотезу истеченія и обработалъ ее съ математическою подробностью, и потому онъ отложилъ въ сторону все относящееся къ эѳиру, какъ одни неопредѣленныя догадки и предположенія, и потому, естественно, занимался дальнѣйшей обработкой теоріи истеченія какъ главной части въ своемъ оптическомъ ученіи.

Главныя положенія въ «Principia» о вопросахъ оптики, находятся въ XIV отдѣлѣ I-й книги **), гдѣ законъ отношенія синусовъ при преломленіи свѣта доказанъ на основаніи гипотезы, что частички тѣла дѣйствуютъ на свѣтъ только на весьма малыхъ разстояніяхъ; и кромѣ того еще въ положеніи VIII отдѣла II-й книги †), гдѣ онъ старается доказать, что движеніе, распространяющееся въ жидкости, должно быть расходящимся, если оно проходитъ черезъ отверстіе. Первое положеніе показываетъ, что законъ преломленія — оптическая истина, которая имѣетъ большое вліяніе при выборѣ между

*) «Phil. Trans» VIII. 5087.

**) «Principia», prop. 94 et seq. †) Ibid prop. 42.



двумя теоріями (тогда какъ относительно отраженія можно принимать одинаково обѣ гипотезы), выведенъ изъ теоріи истеченія; тогда какъ второе положеніе имѣло цѣлью доказать несосостоятельность противоположной теоріи волнообразныхъ движеній. Что касается перваго пункта, т. е. гипотетическаго объясненія преломленія на основаніи истеченія, то заключеніе, выводимое изъ него, довольно удовлетворительно. Но за то заключеніе, выводимое изъ втораго пункта, т. е. распространенія волнъ, непослѣдовательно и неопредѣленно; и отъ Ньютона въ этомъ отношеніи можно было бы ожидать чего-нибудь болѣе основательнаго, особенно послѣ того, какъ Гюйгенсъ уже доказалъ противоположныя положенія. Если такимъ образомъ предположить, что это свойство, т. е. прямолинейный ходъ луча, отраженіе и преломленіе свѣта объясняются одинаково удовлетворительно обѣими теоріями, то что же могло рѣшить вопросъ о преимуществѣ той или другой теоріи? Цвѣта тонкихъ пластинокъ. Какимъ образомъ Ньютонъ объяснялъ это явленіе? Новой и совершенно особенной гипотезой о расположеніи свѣта къ легкимъ и труднымъ передачамъ. Такая гипотеза, хотя она и вѣрно объясняетъ этотъ фактъ, не подтверждается никакими другими оптическими явленіями. Но оставляя въ сторонѣ это и обращаясь къ особеннымъ законамъ поляризаціи въ исландскомъ шпатѣ, что мы находимъ у Ньютона въ объясненіе этого явленія? Опять особенную и новую гипотезу, что лучи свѣта имѣютъ стороны. Такимъ образомъ мы не находимъ никакого новаго доказательства въ пользу теоріи истеченій, основаннаго на новыхъ требованіяхъ

предъявленныхъ ей. Могутъ возразить, что это же самое можно сказать и о теоріи волнообразныхъ движеній. Дѣйствительно, нужно согласиться, что въ то время, о которомъ мы говоримъ, превосходство ея еще не было очевидно, хотя Гукъ, какъ мы видѣли, близко подошелъ къ тому вѣрному объясненію, которое даетъ эта теорія цвѣтамъ тонкихъ пластинокъ.

Въ позднѣйшіе годы Ньютонъ имѣлъ сильное нерасположеніе къ гипотезѣ, будто свѣтъ состоитъ просто въ волнообразныхъ движеніяхъ. «Не ошибочны ли—говоритъ онъ въ 28 вопросѣ «Оптики»—всѣ тѣ гипотезы, которыя принимаютъ, будто-бы свѣтъ состоитъ только въ сжатіи или движеніи, распространяющемся въ жидкой средѣ?» Причина, приведшая его къ такому убѣжденію, была кажется та, на которую мы уже указывали; именно, что по волнообразной теоріи ондуляціи, проходящія черезъ отверстія, должны были бы расходиться въ разныя стороны. Къ этому же убѣжденію приводилъ его и тотъ его взглядъ, что свойства свѣта, обнаруживающіяся въ различныхъ оптическихъ явленіяхъ, «зависятъ не отъ новыхъ видоизмѣненій, но отъ первоначальныхъ и неизмѣнныхъ свойствъ самихъ лучей (Quaest. XXVII)».

Но даже и въ этомъ періодѣ развитія его убѣжденій онъ былъ весьма далекъ отъ того, чтобы совершенно оставить безъ вниманія механизмъ вибрацій. Онъ расположенъ былъ прибѣгнуть къ этому механизму для объясненія своихъ «расположеній свѣта къ легкимъ передачамъ». Въ 17 вопросѣ своей «Оптики» онъ говоритъ (стр. 322): «если лучъ свѣта падаетъ на поверхность какого-нибудь прозрачнаго тѣла и здѣсь

преломляется или отражается, то не могутъ ли произойти вибрирующія волны или дрожанія въ преломляющей или отражающей средѣ въ точкѣ паденія луча?.. и не могутъ ли эти вибраціи, дѣйствуя на лучи свѣта и, съ своей стороны, подвергаясь ихъ дѣйствію, приходить отъ этого къ вышеописаннымъ расположеніямъ свѣта къ легкому отраженію и легкой передачѣ?» Многіе другіе вопросы его также заключаютъ въ себѣ убѣжденіе въ необходимости предположенія эѳира и его вибрацій. Кромѣ того можно еще спросить, есть ли какое-нибудь основаніе принимать гипотезу эѳира, какъ часть механизма свѣта, которое бы въ то же время не говорило въ пользу того, что ее можно принять для объясненія всего механизма, особенно если доказано, что кромѣ предположенія эѳира не нужно ничего для объясненія явленій свѣта?

Тѣмъ не менѣе теорія истеченій была удерживаема учениками Ньютона въ самой строгой формѣ ея. Для многихъ изъ нихъ достаточнымъ основаніемъ къ ея принятію было уже одно то, что въ «Principia» находились положенія, развитыя на основаніи этой теоріи, которая кромѣ того имѣла еще то преимущество, что ее легко можно было понять; потому что хотя распространеніе волны и не представляетъ особенныхъ трудностей пониманія, особенно для математика, но все-же движеніе частичекъ еще гораздо легче представить и понять.

Но съ другой стороны теорія волнообразныхъ движеній защищалась такимъ человѣкомъ, какъ Эйлеръ; и война между обѣими теоріями велась очень сильно. Аргументы обѣихъ сторонъ были извѣстны; и ни одна

изъ нихъ не могла объяснить какой-нибудь новый отдѣлъ явленій. Эйлеръ возражалъ противъ теоріи истеченій *) тѣмъ, что постоянное истеченіе свѣта изъ солнца должно было бы уменьшить его массу; что теченіе свѣтовой матеріи, постоянно совершающееся, должно было бы оказывать вліяніе на движенія планетъ и кометъ; что лучи должны были бы возмущать и задерживать другъ друга; что прохожденіе свѣта чрезъ прозрачныя тѣла необъяснимо по этой теоріи. На всѣ такіе аргументы противная сторона отвѣчала указаніями на чрезвычайную тонкость и быстроту свѣтовой матеріи. Съ своей стороны приверженцы истеченій выставляли противъ теоріи волнъ тотъ любимый Ньютономъ аргументъ, что по этой теоріи свѣтъ, проходящій черезъ отверстіе, долженъ былъ бы расходиться во всѣ стороны какъ звукъ. Странно, что Эйлеръ не опровергъ этого аргумента объясненіемъ, которое еще прежде сдѣлалъ Гюйгенсъ. Это вѣроятно происходило оттого, что Эйлеръ неясно понималъ основное различіе между звуковыми и свѣтовыми волнами, состоящее въ томъ, что обыкновенное небольшое отверстіе безконечно велико въ сравненіи съ длинной свѣтовой волной, между тѣмъ какъ такое же отверстіе въ сравненіи съ звуковою волною не очень велико и даже можетъ равняться длинѣ волны **). Понятное заключеніе

*) Fischer, IV, 449.

**) Самый низшій тонъ, такъ-называемое нижнее *C*, которое даетъ открытая съ обѣихъ сторонъ парижская органная трубка длиною въ 8 футовъ, дѣлаетъ 64 колебанія въ секунду. Если скорость распространенія звука

этой разницы состоитъ въ томъ, что свѣтъ можетъ проходить черезъ такое отверстіе свѣтовыми лучами. Эйлеръ, не зная этой разницы, въ отвѣтъ на возраженіе, указывалъ только на то, тоже не неважное, об-

---

въ секунду составляетъ 1,024 фута, то длина звуковой волны этой трубки составляетъ

$$\frac{1024}{64} \text{ или 16 футовъ.}$$

Но самый высшій тонъ, который еще можетъ слышать наше ухо, составляетъ 16,000 колебаній въ секунду, и длина этой звуковой волны составляетъ поэтому

$$\frac{1024.\ (144)}{16,000} \text{ или около } ^9/_{12} \text{ линіи фута.}$$

Совершенно иное дѣло съ свѣтомъ, гдѣ длина волны различна для каждаго цвѣта и для всѣхъ ихъ безконечно мала. По Фраунгоферовымъ измѣреніямъ призматическаго спектра, эти длины свѣтовыхъ волнъ составляютъ въ частяхъ парижскаго дюйма:

для	краснаго	цвѣта	0,000024
»	оранжеваго	»	0,000022
»	желтаго	»	0,000019
»	зеленаго	»	0,000018
»	голубаго	»	0,000016
»	фіолетоваго	»	0,000015.

Эта чрезвычайная малость свѣтовыхъ волнъ, въ сравненіи съ громадною скоростью ихъ распространенія (40,000 миль, каждая въ 4000 туазовъ, въ секунду), показываетъ, какъ необыкновенно мало должно быть время качанія волны и какъ громадно должно быть число качаній въ секунду. Это число составляетъ напримѣръ для красныхъ лучей

$$\frac{40,000 \times 4,000 \times 6 \times 12}{0,000024} \text{ или 480 билліоновъ.}$$

стоятельство, что тѣла, обыкновенно употребляемыя для опытовъ, могутъ пропускать черезъ себя звукъ, тогда какъ они непроницаемы и обыкновенно называются непрозрачными тѣлами. Кромѣ того онъ говорилъ, что звукъ проходитъ не черезъ одно отверстіе, потому что мы слышимъ звукъ, если даже и закрыть отверстіе. Таковы были главные пункты нападенія и защиты; и они почти не измѣнялись въ теченіе цѣлаго послѣдняго столѣтія: постоянно представлялись одни и тѣ же возраженія и постоянно давались одни и тѣ же отвѣты, такъ что это походило на схоластическіе диспуты среднихъ вѣковъ.

Такимъ образомъ борьба колебалась, пока авторитетъ Ньютона и уваженіе къ другимъ его воззрѣніямъ не дали наконецъ рѣшительнаго перевѣса теоріи истеченій, которая сдѣлалась почти общепринятой. Она еще прочнѣе укрѣпилась вслѣдствіе того поворота, который приняла научная дѣятельность въ послѣдней половинѣ XVIII столѣтія. Въ это время почти ничего не было прибавлено къ нашимъ знаніямъ о законахъ оптическихъ явленій; между тѣмъ какъ химическія дѣйствія свѣта ревностно изучались многими изслѣдователями *). Результаты, до которыхъ

а для фіолетоваго

$$\frac{40,000 \times 4,000 \times 6 \times 12}{0,000015}$$ или 768 билліоновъ,

такимъ образомъ среднимъ числомъ 624 билліона качаній въ секунду. (Пр. Литтрова).

*) Напримѣръ Шеель, Сеннебье, Лавуазье, Де-Люкъ, Рихтеръ, Леонарди, Гренъ, Гиртаннеръ, Динкъ, Гагенъ, Фойхтъ, Де-ла-Метри, Шереръ, Дице, Бруньятелли. См. Fischer, «Geschichte» VII, 20.

дошли эти ученые, по ихъ мнѣнію, совершенно согласовались съ господствовавшими тогда мнѣніями, если предполагать матеріальность свѣта. Понятно само собою, что всѣ ихъ заключенія, основанныя на неопредѣленныхъ и сомнительныхъ наблюденіяхъ, какія въ то время представляла химія, не могутъ быть и сравниваемы съ постояннымъ и правильнымъ прогрессомъ индукціи и обобщенія, основаннымъ на отношеніяхъ пространства и числа, которыя составили основаніе механическихъ наукъ. Поэтому мы оставляемъ въ сторонѣ всѣ эти химическія соображенія, какъ относящіяся къ другимъ предметамъ, и начнемъ исторію оптическихъ теорій съ другихъ событій, совершенно отличныхъ отъ вышеуказанныхъ.

ГЛАВА XI.

Эпоха Юнга и Френеля.

---

§ 1. Введеніе.

Человѣкъ, имя котораго занимаетъ самое почетное мѣсто въ исторіи Физической Оптики, вслѣдствіе того, что онъ сдѣлалъ для возрожденія и утвержденія теоріи волнообразныхъ движеній свѣта, есть Томасъ Юнгъ. Онъ родился въ 1773 г. въ Мильвертонѣ въ Соммерсетширѣ отъ родителей квакеровъ. Въ юности уже онъ отличался разнообразными талантами и дѣятельностію; и въ 1801 г. поселился въ Лондонѣ въ качествѣ врача, но продолжалъ изучать и общія естественныя науки. Его оптическая теорія долгое время имѣла мало послѣдователей. Нѣсколько лѣтъ спустя Августъ Френель, знаменитый французскій математикъ и инженерный офицеръ, пришелъ къ подобнымъ же воззрѣніямъ, доказалъ ихъ вѣрность и вывелъ изъ нихъ послѣдствія въ цѣломъ рядѣ работъ почти совершенно независимо отъ работъ Юнга. И только тогда, когда слава этой теоріи изъ Франціи перешла въ Англію, Англичане обратили вниманіе на

своего соотечественника, въ первый разъ провозгласившаго эту новую или усовершенствованную теорію.

Теорія волнообразныхъ движеній подобно теоріи всеобщаго тяготѣнія можетъ быть раздѣлена на нѣсколько послѣдовательныхъ степеней обобщенія. Какъ тамъ, такъ и здѣсь всѣ эти обобщенія сдѣланы были одними и тѣми же лицами; но между этими двумя случаями есть и разница. Всѣ части закона всеобщаго тяготѣнія были выработаны вдругъ какъ-бы по одному геніальному вдохновенію автора ихъ и были публикованы въ одно время, между тѣмъ какъ въ ученіи о свѣтѣ отдѣльные шаги общаго прогресса были сдѣланы и публикованы въ различныя времена съ промежутками между ними. Мы видимъ теорію свѣта въ ея тѣсной формѣ въ отдѣльныхъ разорванныхъ частяхъ; и потомъ уже она является намъ въ самыхъ широкихъ обобщеніяхъ и въ цѣльномъ единствѣ, какого она достигла; мы видимъ, какъ составители ея, прежде чѣмъ достигнуть успѣха, борятся со многими трудностями. Они кажутся намъ людьми похожими на насъ, могущими запутываться и ошибаться, тогда какъ въ исторіи физической астрономіи Ньютонъ является намъ какъ непоколебимый и почти сверхъестественный герой философской эпопеи. Тѣ подраздѣленія великаго прогресса физической оптики, о которыхъ мы должны говорить теперь, суть слѣдующія:

1) Объясненіе періодическихъ цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ и толстыхъ пластинокъ, коймъ вокругъ тѣней, сѣтчатыхъ поверхностей и другихъ явленій въ этомъ родѣ, посредствомъ ученія объ интерференціи свѣтовыхъ волнъ.

2) Объясненіе явленій двойнаго преломленія посредствомъ ученія о распространеніи волнъ въ средѣ, оптическая эластичность которой различна въ различныхъ направленіяхъ.

3) Объясненіе поляризаціи свѣта, какъ результата поперечныхъ вибрацій и вытекавшее изъ этого объясненіе механическими принципами самой поляризаціи и необходимой связи между поляризаціей и двойнымъ преломленіемъ.

4) Объясненіе явленій двойной поляризаціи посредствомъ интерференціи раздѣленныхъ двойнымъ преломленіемъ частей вибрацій.

Исторію каждаго изъ этихъ открытій мы разсмотримъ отдѣльно и съ нѣкоторою подробностью, для того, чтобы очевиднѣе выставилась сила доказательности, заключающаяся въ совокупности всѣхъ ихъ.

§ 2. Объясненіе періодическихъ цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ и цвѣтныхъ коймъ вокругъ тѣней посредствомъ волнообразной теоріи.

Объясненіе періодическихъ цвѣтовъ на основаніи интерференціи вибрацій было первымъ шагомъ, который сдѣлалъ Юнгъ для подтвержденія волнообразной теоріи. Въ своей запискѣ о звукѣ и свѣтѣ, помѣченной такъ: Emmanuel College, Cambridge, 8 іюля 1799 г., и читанной въ Королевскомъ Обществѣ въ январѣ слѣдующаго года, онъ сильно склоняется къ теоріи Гюйгенса; онъ конечно не представляетъ никакихъ фактовъ или вычисленій въ ея пользу, но указываетъ на великія трудности, которыя говорятъ противъ ги-

потезы Ньютона. Но въ запискѣ, читанной въ Королевскомъ Обществѣ 12 ноября 1801 г., онъ говоритъ: «дальнѣйшее изслѣдованіе цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ превратило его особенное расположеніе къ этой теоріи свѣта въ твердое убѣжденіе въ ея истинѣ и дѣйствительности, убѣжденіе, которое потомъ самымъ разі.тельнымъ образомъ подтвердилось анализомъ цвѣтовъ сѣтчатыхъ поверхностей». Здѣсь же онъ устанавливаетъ общій принципъ интерференціи въ формѣ предложенія (prop. VIII). «Когда двѣ волны различнаго происхожденія совершенно или весьма близко совпадаютъ въ своемъ направленіи, то происходящее отъ соединенія ихъ дѣйствіе есть комбинація движеній, принадлежащихъ каждой изъ нихъ». При помощи этого предложенія онъ объясняетъ цвѣта, являющіеся въ микрометрѣ Ковентри, въ которомъ начерчена на стеклѣ сѣтка изъ линій, отстоящихъ одна отъ другой на $^{1}/_{500}$ вершка. Интерференція волнъ, лучей свѣта, отражающихся отъ двухъ сторонъ этихъ тонкихъ линій, производитъ періодическіе цвѣта. Такимъ же точно образомъ онъ объясняетъ цвѣта тонкихъ пластинокъ интерференціею свѣта, который по частямъ отражается отъ двухъ поверхностей пластинокъ. Мы уже видѣли, что Гукъ еще прежде представлялъ такое же объясненіе; и Юнгъ въ концѣ своей записки говоритъ: «уже послѣ того, какъ я совершенно удовлетворительно для себя объяснилъ эти явленія, я нашелъ въ «Micrographia» Гука мѣсто, которое, еслибы зналъ я его прежде, могло бы навести меня на такое же объясненіе». Онъ приводитъ также изъ Ньютона много мѣстъ, въ которыхъ предполагается существо-

ваніе эѳира и въ которыхъ, какъ мы уже видѣли, Ньютонъ говоритъ, что это предположеніе необходимо для объясненія подобныхъ явленій, хотя онъ самъ думалъ, что это предположеніе возможно только какъ дополненіе къ теоріи истеченія матеріальнаго свѣта. Въ іюлѣ 1802 г., Юнгъ на основаніи того же принципа интерференціи объяснилъ нѣкоторыя наблюденія относительно неопредѣленнаго видѣнія и другія подобныя явленія. Въ 1803 г. *) онъ выражается еще опредѣленнѣе и рѣшительнѣе. «Дѣлая—говоритъ онъ—нѣкоторые опыты надъ цвѣтными коймами вокругъ тѣней, я нашелъ такое простое и такое очевидное доказательство общаго закона двухъ частей свѣтовыхъ лучей, который я уже прежде старался утвердить, что я считаю нужнымъ представить Королевскому Обществу краткое изложеніе тѣхъ фактовъ, которые кажутся мнѣ очень рѣшительны въ этомъ дѣлѣ». Обѣ упомянутыя записки должны были убѣдить всякаго ученаго человѣка въ истинѣ новой теоріи, потому что число и точность представляемыхъ ею объясненій были поразительны. Она объясняла цвѣта, которые являются въ тѣняхъ тонкихъ линій; цвѣта, производимые росою между двумя пластинками стекла и появляющіеся по предсказанію теоріи тогда, когда толщина слоя воды въ 6 разъ больше толщины тонкихъ пластинокъ; измѣненія, происходящія въ томъ случаѣ, если вмѣсто воды употребить другія жидкости; измѣненія, происходящія отъ различнаго наклоненія пластинокъ одна къ другой; также коймы и

*) «Phil. Trans.» Мемуаръ, читанный 24 ноября.



черты, которыя появляются въ тѣняхъ тѣлъ, и которыя были наблюдаемы Гримальди, Ньютономъ. Маральди и другими и до сихъ поръ не были подведены ни подъ какое правило. Юнгъ весьма справедливо замѣчаетъ, что какъ бы ни думали объ его теоріи, но она представляетъ простой и общій законъ для явленій. Наконецъ онъ вычислилъ длину волны на основаніи измѣреній коймъ въ тѣни, какъ прежде онъ сдѣлалъ это измѣреніе на основаніи цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ, и нашелъ, что результаты его вычисленій весьма близко согласуются съ разными другими случаями и опытами.

Но есть одна трудность и одна неточность въ воззрѣніяхъ Юнга въ этомъ періодѣ, на которую слѣдуетъ здѣсь указать. Трудность состояла въ томъ, что онъ считалъ необходимымъ предполагать, что свѣтъ, если онъ отражается отъ болѣе тонкой среды, долженъ въ своемъ движеніи замедляться на половину волны. Это предположеніе, хотя впослѣдствіи на него часто указывали, какъ на доказательство противъ теоріи, вполнѣ подтвердилось, когда были раскрыты настоящіе механическіе принципы этого предмета; и Юнгъ съ самаго начала понималъ ясно необходимость его. Въ этомъ убѣжденіи онъ говоритъ: «я смѣло предсказывалъ прежде, что если отраженіе будетъ однородно, т. е. будетъ происходить на поверхности тонкой пластинки, имѣющей плотность среднюю между плотностями средъ, окружающихъ ее, то центральный пунктъ долженъ казаться бѣлымъ; и къ удовольствію моему я нашелъ, что это вполнѣ подтвердилось, когда я положилъ каплю

сассафрасоваго масла между призмой изъ флинтгласа и чечевицей изъ кронгласа».

Упомянутая неточность въ его вычисленіяхъ состояла въ томъ, что онъ думалъ, что каймы въ тѣняхъ производятся интерференціей луча, отраженнаго отъ края предмета, съ лучемъ, который свободно и безъ отраженія проходитъ какъ разъ мимо предмета; между тѣмъ какъ по сущности дѣла онъ долженъ былъ бы предполагать, что всѣ части свѣтовыхъ волнъ усиливаютъ или интерферируютъ другъ друга. Математическая разработка вопроса съ точки зрѣнія послѣдняго предположенія была не легка. Юнгъ, при рѣшеніи представлявшихся проблемъ показалъ себя значительнымъ математикомъ, хотя его методы и не имѣли того аналитическаго изящества, которое въ то время было почти общимъ во Франціи. И кажется, что онъ никогда не разрѣшилъ бы проблемы примѣненія волнообразныхъ движеній къ цвѣтнымъ каймамъ и не удовлетворилъ всѣмъ ея условіямъ. Однако впослѣдствіи онъ исправилъ свои воззрѣнія на сущность интерференціи; и мы можемъ прибавить, что числовыя ошибки, происшедшія отъ неточности его гипотезы, были такого рода, что онѣ нисколько не ослабляли силу другихъ его доказательствъ, подтверждавшихъ волнообразныя теоріи *).

---

*) Въ дополненіе къ примѣненіямъ, которыя Юнгъ сдѣлалъ изъ принципа интерференціи, я могу указать на его Эріометръ, инструментъ изобрѣтенный для измѣренія толщины фибръ дерева, и на объясненіе вторичныхъ дугъ радуги. Это объясненіе заключало въ себѣ вычисленія,

Но хотя новая теорія такимъ образомъ сильно поддерживалась и опытомъ и вычисленіями, однако она была принята въ ученомъ мірѣ не слишкомъ благосклонно. Можетъ быть намъ удастся до нѣкоторой степени объяснить это, когда мы будемъ говорить въ слѣдующей главѣ о томъ, какъ приняли ее люди, считавшіеся тогда учеными и литературными судьями. Авторъ теоріи продолжалъ трудиться надъ пополненіемъ и приложеніемъ ея къ другимъ явленіямъ; но его необыкновенный успѣхъ въ разработкѣ и объясненіи сложныхъ явленій, о которыхъ мы говорили, не возбуждалъ къ себѣ должнаго вниманія и удивленія до тѣхъ поръ, пока Френель въ октябрѣ 1815 г. не представилъ французскому Институту мемуаръ «о Диффракціи».

Араго и Пуансо поручено было представить отчетъ объ этомъ мемуарѣ, и первый самъ занялся этимъ предметомъ съ свойственною ему ревностью и умѣньемъ. Онъ повѣрилъ представленные Френелемъ законы, которые, какъ онъ говоритъ, сдѣлаютъ эпоху въ наукѣ. Затѣмъ въ своемъ отчетѣ онъ бросилъ бѣглый взглядъ на исторію этого предмета и сразу же призналъ высокое мѣсто, какое долженъ занимать въ ней Юнгъ. Гримальди, Ньютонъ и Маральди, говоритъ онъ, наблюдали только факты и напрасно старались подвести ихъ къ закону или причинѣ. «Таково, по его словамъ *), было положеніе нашихъ

основанныя на длинѣ свѣтовой волны, и подтвердилось опытомъ, насколько оно было доступно опыту.

*) «Ann. Chim.» 1815. Febr.



знаній объ этомъ трудномъ вопросѣ, когда Томасъ Юнгъ сдѣлалъ свой замѣчательный опытъ, который онъ описалъ въ «Philosophical Transactions» за 1803 годъ». Этотъ опытъ состоитъ въ томъ, что для того, чтобы уничтожить всѣ цвѣтныя и темныя полосы въ тѣняхъ, слѣдуетъ только задержать тотъ лучъ, который касается или коснулся ширмы, бросающей тѣнь. Къ этому Араго прибавилъ важное наблюденіе, что такое же уничтоженіе цвѣтныхъ полосъ произойдетъ и тогда, если мы задержимъ лучи прозрачной пластинкой, исключая того случая, когда эта пластинка слишкомъ тонка; въ этомъ случаѣ цвѣтныя полосы не уничтожаются, а только перемѣщаются. «Френель, говоритъ онъ, когда я разсказывалъ ему о такомъ дѣйствіи толстыхъ стеклянныхъ пластинокъ, тотчасъ же напередъ отгадалъ, какое дѣйствіе произведетъ при этомъ опытѣ подобная же, но только весьма тонкая пластинка». Френель самъ заявлялъ *), что онъ въ это время еще ничего не зналъ о предшествовавшихъ работахъ Юнга. Представивъ почти тѣ же объясненія цвѣтныхъ полосъ, какія Юнгъ высказалъ еще въ 1801 г., Френель прибавляетъ: «такимъ образомъ эти полосы и коймы происходятъ отъ встрѣчи, или отъ настоящаго перекрещиванія лучей свѣта. Это заключеніе, которое есть такъ сказать только переводъ явленія природы, по моему мнѣнію совершенно противорѣчитъ гипотезѣ истеченія и подтверждаетъ истину той системы, по которой свѣтъ состоитъ изъ вибрацій особенной жидкой среды». И та-

*) Ibid. XVII, 402.



кимъ образомъ принципъ интерференціи, какъ доказательство теоріи волнообразныхъ движеній, былъ во второй разъ открытъ Френелемъ во Франціи черезъ 14 лѣтъ послѣ того, какъ онъ въ первый разъ былъ открытъ, доказанъ и нѣсколько разъ публикованъ Юнгомъ въ Англіи.

Въ упомянутомъ мемуарѣ Френель идетъ почти тѣмъ же путемъ, какимъ шелъ Юнгъ; именно онъ смотритъ на интерференцію прямаго луча съ лучемъ, отраженнымъ отъ края ширмы, какъ на причину внѣшнихъ полосъ или коймъ, и замѣчаетъ, что при этомъ отраженіи необходимо предполагать, что половина волны теряется. Но черезъ нѣсколько лѣтъ онъ представлялъ распространеніе волнъ болѣе вѣрно и дошелъ до рѣшенія той трудности, какую представляла въ этомъ случаѣ половина волны. Его болѣе полный мемуаръ о Диффракціи былъ представлёнъ французскому Институту 29 іюля 1818 г. и получилъ премію въ 1819 *). Но вслѣдствіе разныхъ препятствій, мѣшавшихъ изданію мемуаровъ Парижской Академіи, и этотъ мемуаръ Френеля былъ напечатанъ только въ 1826 г. **), когда теорія волненій стала общепринятой и уже не подвергалась сомнѣніямъ въ ученомъ мірѣ. Въ этомъ мемуарѣ Френель замѣчаетъ, что мы должны имѣть въ виду дѣйствіе *каждой части* свѣтовой волны на отдаленную точку и на этомъ основаніи должны найти полное освѣщеніе этой точки, производимое совокупностью какого угодно числа та-

*) «Ann. Chim.» Mai. 1819.
**) «Mém. Inst.» за 1821—2.



кихъ волнъ. Для этого вообще требуется процессъ интеграціи; и хотя интегралы, являющіеся здѣсь, совершенно новы и трудны, однако онъ съумѣлъ сдѣлать вычисленія для всѣхъ случаевъ, которые онъ наблюдалъ. Его «Таблица сравненій теоріи съ наблюденіями» *) представляютъ весьма поразительное согласіе между ними; ошибки вообще никогда не бывали больше $^1/_{100}$ всей величины разстояній темныхъ полосъ. Поэтому онъ справедливо замѣчаетъ: «болѣе полнаго согласія между теоріей и опытомъ и нельзя требовать. Если сравнить эти незначительныя разницы съ количествомъ измѣренныхъ полосъ и обратить вниманіе на тѣ большія измѣненія, которымъ подвергается во время наблюденій разстояніе наблюдаемаго предмета отъ свѣтящейся точки и отъ ширмы, то окажется, что истиннымъ выраженіемъ закона явленій можетъ быть ни что иное, какъ интегралъ, который привелъ насъ къ этимъ результатамъ».

Математическая теорія, примѣненная съ такимъ успѣхомъ ко множеству случаевъ весьма различнаго рода, не могла не обратить на себя особеннаго вниманія математиковъ; и потому съ этого времени волнообразная теорія диффракціи свѣта стала общепринятой и математическія трудности, какія она заключала въ себѣ, усердно разъяснялись и устранялись.

Между замѣчательными приложеніями волнообразной теоріи диффракціи мы можемъ указать на труды Іосифа Фраунгофера, ученаго оптика въ Мюнхенѣ. Онъ сдѣлалъ множество опытовъ надъ тѣнями, производимыми ма-

*) «Mém. Inst.» 420—424.



ленькими отверстіями и группами такихъ отверстій, лежащихъ близко одно подлѣ другаго. Эти опыты были напечатаны въ его сочиненіи: «Новыя видоизмѣненія свѣта» въ «Astronomische Abhandlungen» Шумахера въ 1823 г. Большая часть этого сочиненія занята изслѣдованіемъ законовъ весьма сложныхъ и блестящихъ явленій, открытыхъ имъ; но въ заключеніи онъ замѣчаетъ: «замѣчательно, что законы взаимнаго вліянія и диффракціи лучей могутъ быть выведены изъ принциповъ волнообразной теоріи. Зная условія задачи, мы можемъ посредствомъ самаго простаго уравненія опредѣлить протяженіе свѣтовой волны для каждаго изъ различныхъ цвѣтовъ; и во всѣхъ случаяхъ вычисленіе вполнѣ согласуется съ наблюденіемъ». Это упоминаніе о «самомъ простомъ уравненіи» повидимому показываетъ, что онъ при своихъ вычисленіяхъ употреблялъ только самые ранніе методы Юнга и Френеля для вычисленія интерференцій, въ которыхъ принимается въ соображеніе только двѣ части луча, а не методъ интеграціи. Вслѣдствіе поздней публикаціи и вслѣдствіе отсутствія математическихъ подробностей, работы Фраунгофера не имѣли сильнаго вліянія на развитіе волнообразной теоріи, хотя онѣ и служили блистательнымъ подтвержденіемъ ея по точности наблюденій и по прелести и разнообразію открытыхъ явленій.

Мы должны разсмотрѣть теперь прогрессъ волнообразной теоріи въ другой части ея, согласно принятому нами дѣленію.

§ 3. Объясненіе Двойнаго Преломленія волнообразной теоріей.

Изложенная нами исторія волнообразной теоріи въ примѣненіи ея къ диффракціи относится къ тому періоду, когда Юнгъ имѣлъ своимъ сотрудникомъ Френеля. Въ послѣдующее время Юнгъ пошелъ далѣе и сталъ развивать теорію въ ея примѣненіи къ другимъ явленіямъ и преимущественно къ явленіямъ двойнаго преломленія.

Впрочемъ относительно этого случая представленное Гюйгенсомъ объясненіе явленій въ исландскомъ шпатѣ посредствомъ сфероидальныхъ волнъ было такъ полно и такъ точно подтверждалось измѣреніями Гауи (Haüy) и Волластона, что послѣ него уже не многое оставалось сдѣлать; слѣдовало только связать гипотезу Гюйгенса съ механическими принципами теоріи и распространить его законъ на другіе случаи. Первую часть этого дѣла сдѣлалъ Юнгъ, предположивъ, что эластичность кристалла, отъ которой зависитъ скорость распространенія свѣтоносныхъ волнъ, различна въ направленіи кристаллографическихъ осей его и въ направленіи плоскостей перпендикулярныхъ къ этимъ осямъ; и изъ этого различія въ эластичности онъ вывелъ существованіе сфероидальныхъ волнъ. Это объясненіе явилось въ «Quarterly Review», (ноябрь, 1809), въ критикѣ попытки Лапласа объяснить эти же явленія. Лапласъ предлагалъ свести двойное преломленіе въ кристаллахъ подобныхъ исландскому шпату на его любимый механизмъ силъ, которыя дѣйствуютъ только

на весьма малыхъ разстояніяхъ *). Особенныя силы, которыя дѣйствуютъ въ этихъ случаяхъ, по его мнѣ-

---

*) Этими гипотетическими силами приверженцы истеченія пытались объяснить обыкновенное преломленіе и отраженіе свѣта слѣдующимъ образомъ.

Такъ какъ падающій на зеркало лучъ сначала теряетъ всю свою скорость и потомъ снова пріобрѣтаетъ равную ей скорость въ противоположномъ направленіи, то, говорили они, въ отражающемъ тѣлѣ должна дѣйствовать сила, которая *отталкиваетъ* свѣтъ. Дѣйствіе этой силы не можетъ начаться тогда, когда свѣтъ коснется зеркала, потому что въ противномъ случаѣ возвышенія и углубленія, которыя есть во всякомъ тѣлѣ, должны были бы отражать свѣтъ *по всѣмъ* направленіямъ. Но это дѣйствіе не можетъ также начаться и на какомъ-нибудь нѣсколько значительномъ разстояніи отъ зеркала, потому что при опытахъ на такихъ разстояніяхъ не замѣчается никакого измѣненія въ свѣтовомъ лучѣ. Поэтому нужно предположить, что существуютъ такія силы, которыя дѣйствуютъ на свѣтъ только на весьма малыхъ разстояніяхъ отъ тѣлъ. Если теперь лучъ, падающій на зеркало въ наклонномъ направленіи, разложить на два другіе луча, изъ которыхъ одинъ параллеленъ къ зеркалу, а другой перпендикуляренъ къ нему, то, вслѣдствіе отталкивающей силы зеркала, уменьшится только скорость перпендикулярнаго луча, между тѣмъ какъ скорость параллельнаго луча останется неизмѣнной. На этомъ основаніи лучъ съ того самаго мгновенія, когда онъ попадетъ въ сферу дѣйствія отражающаго тѣла, описываетъ кривой выпуклый къ поверхности этого тѣла путь. Но такъ какъ вслѣдъ затѣмъ вся перпендикулярная скорость луча уничтожается, то таже отталкивающая сила отражающей среды сообщаетъ свѣту скорость противоположную перпендикулярной; и эта скорость, соединившись съ неизмѣнившейся параллельной скоростью, даетъ для свѣта кривой путь равный выше-

нію, вытекаютъ изъ кристаллографическихъ осей кристалловъ, такъ что скорость распространенія свѣта

упомянутому, и свѣтъ въ той точкѣ, гдѣ онъ оставляетъ сферу дѣйствія среды, идетъ по тангенсу этой кривой и образуетъ такимъ образомъ отраженный лучъ, который, согласно этому объясненію, составляетъ съ перпендикуляромъ такой же уголъ, какой имѣлъ, когда подходилъ къ отражающей средѣ.

Преломленіе свѣта въ прозрачныхъ тѣлахъ, по теоріи истеченія, объясняется этими же дѣйствующими на весьма малыхъ разстояніяхъ силами, но только въ этомъ случаѣ предполагается, что они дѣйствуютъ притягательно; и защитникамъ этой теоріи не казалось противорѣчіемъ предполагать, что та же самая сила въ одномъ состояніи дѣйствуетъ притягательно, а въ другомъ отталкивательно. Эти притягивающія силы преломляющей среды, говорятъ они, должны дѣйствовать въ направленіи перпендикулярномъ поверхности среды, потому что отвѣсно падающій лучъ, какъ извѣстно, не преломляется. Если теперь опять разложить наклонно упавшій на среду лучъ на два луча, на перпендикулярный и параллельный, то при входѣ свѣта въ преломляющую среду, перпендикулярная скорость должна увеличиваться вслѣдствіе притягательной силы среды, параллельная же остается неизмѣнной; и потому преломленный лучъ, или, что тоже, сложное направленіе, полученное изъ соединенія этихъ двухъ движеній, должно въ преломляющей средѣ быть ближе къ перпендикуляру, чѣмъ въ пустомъ пространствѣ, и такимъ образомъ при преломленіи лучъ приближается къ перпендикуляру паденія. Если свѣтъ идетъ не изъ пустаго пространства, а изъ одной преломляющей среды въ другую, то результатъ преломленія будетъ зависѣть отъ различія притягательныхъ силъ въ этихъ обѣихъ средахъ, и преломленный лучъ или приблизится къ перпендикуляру паденія какъ прежде, или же можетъ удалиться отъ него. На

внутри кристалла зависитъ только отъ положенія лучей относительно этихъ осей. Но предположеніе та-

---

разсѣяніе цвѣтовъ при преломленіи свѣта смотрѣли также какъ на естественное слѣдствіе дѣйствія этихъ молекулярныхъ силъ, и предполагали, что эти силы дѣйствуютъ различно на свѣтовыя частички различнаго объема и различныхъ формъ, и тѣмъ производятъ различное отклоненіе ихъ.

Все это можно было принимать и допускать вѣроятнымъ, пока не существовало лучшихъ объясненій и пока новооткрытыя явленія не показали всю неосновательность подобныхъ объясненій. Такими именно явленіями и были многочисленныя и замѣчательныя открытія относительно уклоненія, или интерференціи свѣта, которыя никакъ нельзя было объяснить приведенными соображеніями и которыя какъ бы ихъ ни объясняли, служили сильными доказательствами противъ гипотезы истеченія. Есть явленія уклоненія или диффракціи, которыя зависятъ только отъ математической формы отверстія въ ширмѣ или отъ формы проволоки, которою задерживается свѣтъ, а вовсе не отъ матеріальныхъ свойствъ ихъ. Между тѣмъ, по смыслу теоріи истеченія, явленія диффракціи должны зависѣть отъ силы, которую обнаруживаютъ края отверстія, или проволока. Какъ бы ни дѣйствовала эта сила, на замѣтномъ или не замѣтномъ разстояніи, во всякомъ случаѣ предположеніе ея противорѣчитъ опыту. Если эта сила распространяется или дѣйствуетъ на замѣтномъ разстояніи, то она должна была бы зависѣть отъ вида отверстія и отъ свойства его поверхности, чего однако не бываетъ на дѣлѣ. Если же эта сила дѣйствуетъ на малѣйшихъ незамѣтныхъ разстояніяхъ, то тогда должны были бы уклоняться только лучи ближайшіе къ отверстію, а не отдаленные нѣсколько отъ нихъ, что̀ также противорѣчитъ опыту. Но если гипотеза истеченій не можетъ объяснить уклоненія или диффракціи свѣта даже въ про-

кого условія, какъ замѣтилъ Юнгъ, представляетъ еще большую трудность разрѣшенія проблемы. Какъ мы можемъ представить себѣ преломляющія силы, которыя не зависятъ отъ поверхности преломляющей среды, а регулируются только извѣстными внутренними линіями въ кристаллѣ? Кромѣ того Лапласъ для дѣйствія этой силы принужденъ былъ придумать законъ, который едвали согласимъ съ механическими принципами и по которому эта сила измѣняется пропорціонально квадрату синуса того угла, который образуетъ лучъ съ осью кристалла. Въ упомянутой критикѣ Юнгъ даетъ понять, что ученый міръ не оказалъ должной справедливости волнообразной теоріи и ему самому, и жалуется на то, что человѣкъ, такъ высоко стоящій въ ученомъ мірѣ, какъ Лапласъ, употребилъ свое вліяніе на распространеніе заблужденія и не обратилъ вниманія на тѣ удивительныя подтвержденія, какія получила тогда теорія Гюйгенса.

стѣйшихъ случаяхъ, то для болѣе сложныхъ и замѣчательныхъ явленій интерференціи и поляризаціи свѣта она не можетъ представить никакого объясненія, не прибѣгая для каждаго отдѣльнаго случая къ новымъ неестественнымъ и невѣроятнымъ гипотезамъ. Такая необходимость выдумывать для каждаго новаго класса явленій новыя качества въ свѣтовой матеріи и объясняетъ намъ, почему теорія истеченій не подала повода къ открытію какого-нибудь новаго факта, который бы непосредственно вытекалъ изъ нея, и почему она наконецъ совершенно была оставлена, какъ ложная теорія, несмотря на ея прежнее безусловное господство и несмотря на авторитеты, которые прежде держались ея и которые и теперь приняли бы ее подъ свою защиту. (Пр. Литтрова).



Примѣненіе этого взгляда на различную эластичность кристалла въ различныхъ его направленіяхъ и къ другимъ многоосным кристалламъ было весьма сложной и трудной проблемой. Какъ ни была очевидна общая мысль послѣ того, что сдѣлалъ Юнгъ, но примѣненія и повѣрка ея требовали геніальныхъ математическихъ вычисленій и весьма точныхъ опытовъ. И дѣйствительно эти примѣненія сдѣланы были только тогда, когда Френель, воспитанникъ Политехнической Школы употребилъ для рѣшенія проблемы всѣ способы новаго анализа; когда явленія двойной поляризаціи повели къ подробному изученію свойствъ двуосныхъ кристалловъ и когда теорія высоко поднялась, соединивъ объясненіе поляризація съ объясненіемъ, двойнаго преломленія. Къ исторіи этихъ объясненій мы и переходимъ теперь.

§ 4. Объясненіе Поляризаціи волнообразной теоріей.

Даже въ то время, когда извѣстны были только тѣ явленія поляризаціи, которыя производятъ два изображенія посредствомъ исландскаго шпата, трудно было объяснить эти явленія на основаніи теоріи волнообразныхъ движеній; и эту трудность чувствовалъ и признавалъ Юнгъ. Открытая Малюсомъ поляризація свѣта черезъ отраженіе еще болѣе увеличила эту трудность; и этого также не скрывалъ Юнгъ. Въ своемъ обозрѣніи мемуаровъ, излагающихъ это открыкрытіе *), онъ говоритъ: «открытіе, изложенное въ

*) «Quart. Rew.» May. 1810.



этихъ мемуарахъ, кажется намъ самымъ важнымъ и интереснымъ изъ всѣхъ, какія были сдѣланы во Франціи относительно свойствъ свѣта, по крайней мѣрѣ со времени Гюйгенса, и оно заслуживаетъ тѣмъ большаго вниманія, что имѣетъ большое значеніе и рѣшительную силу при опредѣленіи относительнаго достоинства двухъ гипотезъ о сущности свѣта волнообразной и матеріальной». Затѣмъ онъ сравниваетъ между собой основныя черты этихъ гипотезъ и совершенно основательно отдаетъ предпочтеніе теоріи волнообразныхъ движеній въ двухъ пунктахъ, о которыхъ теперь идетъ рѣчь, именно въ объясненіи явленій диффракціи и двойнаго преломленія. И затѣмъ, указывая на затрудненіе, представляемое поляризаціей, онъ прибавляетъ, что не всегда ходъ научныхъ открытій идетъ быстро и непрерывно; но что намъ приходится иногда оставлять нѣкоторыя части неразъясненными и представляющими противорѣчія, которыя впослѣдствіи разъяснятся дальнѣйшими изслѣдованіями. И такимъ образомъ онъ твердо, но безъ слѣпаго пристрастія и съ полной надеждой держался своей великой философской истины о превосходствѣ волнообразной теоріи. То время, когда вслѣдствіе открытія поляризаціи для теоріи представились особенныя трудности и когда еще не было открыто рѣшеніе ихъ, мы можемъ назвать самымъ труднымъ временемъ въ исторіи теоріи; и въ это-то время Юнгъ оставался одинъ на полѣ дѣйствій.

Нѣсколько лѣтъ прошло прежде, чѣмъ его озарилъ свѣтъ истины. Но въ это время Юнгъ нашелъ, что его теорія можетъ объяснить диполяризованные цвѣта,

и имѣлъ удовольствіе видѣть, что Френель во второй разъ открылъ, а Араго принялъ его воззрѣнія на дифракцію. Послѣ этого онъ вошелъ въ дружескія отношенія съ Араго, который посѣтилъ его въ Англіи въ 1816 г. Въ письмѣ къ Араго отъ 12 января 1817 г. Юнгъ между разными другими замѣчаніями по части оптики говоритъ слѣдующее: «я также думалъ о возможности представить хоть какое-нибудь объясненіе того измѣненія свѣта, которое выражается поляризаціей, не отступая отъ теоріи волнообразныхъ движеній». Затѣмъ онъ далѣе предполагаетъ возможность «поперечныхъ вибрацій, распространяющихся по направленію радіусовъ, между тѣмъ какъ частички находятся въ извѣстномъ постоянномъ направленіи относительно этого радіуса; а это», прибавляетъ онъ, «и есть поляризація». Изъ его дальнѣйшаго объясненія этого воззрѣнія видно, что онъ представлялъ движеніе частичекъ въ наклонномъ направленіи къ лучу, а не въ перпендикулярномъ, какъ развито было по теоріи впослѣдствіи; тѣмъ не менѣе въ его мысли о поперечныхъ вибраціяхъ было самое существенное условіе для объясненія явленій поляризаціи. Когда была высказана эта мысль, тогда уже можно было понять, какимъ образомъ лучи свѣта могутъ имѣть стороны; потому что вибраціи поперечныя къ лучу естественно могутъ отличаться особенными свойствами. И когда такимъ образомъ мысль была высказана, то для такихъ людей, какъ Юнгъ и Френель, было уже сравнительно легко развивать и видоизмѣнять ее до тѣхъ поръ, пока она не приняла вѣрной и отчетливой формы. О томъ, какъ трудно было установить

твердое понятіе о поперечныхъ вибраціяхъ эѳира, производящихъ явленія свѣта, мы можемъ судить по тому, какъ долго боролись съ разными трудностями великіе естествоиспытатели, о которыхъ мы говоримъ, прежде чѣмъ успѣли выработать это понятіе. Френель въ 1821 г. говорилъ: «Когда Араго и я замѣтили (въ 1816), что два луча поляризованные подъ прямыми углами даютъ всегда одинаковое количество свѣта при своемъ соединеніи, я думалъ, что это можетъ быть объяснено предположеніемъ поперечныхъ вибрацій, совершающихся подъ прямымъ угломъ, когда лучи поляризованы подъ прямыми углами. Но это предположеніе до такой степени противорѣчило общепринятымъ понятіямъ о вибраціяхъ эластическихъ жидкостей, что я медлилъ принять его до тѣхъ поръ, пока не приведу его въ согласіе съ механическими понятіями. Юнгъ, болѣе смѣлый въ своихъ догадкахъ и менѣе довѣрявшій геометрическимъ понятіямъ, публиковалъ эту мысль прежде меня, хотя можетъ быть онъ придумалъ ее послѣ меня». Араго впослѣдствіи разсказывалъ *), что когда онъ и Френель получили при своихъ опытахъ результатъ, показывающій, что поляризованные лучи не могутъ интерферироваться, и когда Френель предполагалъ, что поперечныя вибраціи суть единственное объясненіе этого явленія по волнообразной теоріи, то онъ прямо объявилъ, что не беретъ на себя смѣлости публиковать такое воззрѣніе, и потому вторая часть была публикована только съ именемъ Френеля. Это тѣмъ

*) Это я знаю по личному моему опыту.

болѣе замѣчательно, что Араго въ это время имѣлъ уже у себя то самое письмо Юнга, въ которомъ онъ высказываетъ такое же предположеніе.

Ученіе Юнга о поперечныхъ вибраціяхъ было публиковано въ первый разъ въ его объясненіяхъ явленій двойной поляризаціи, о которомъ мы будемъ говорить въ слѣдующемъ параграфѣ. Но главное и громадное значеніе его мысли, составлявшей важный шагъ въ прогрессѣ волнообразной теоріи, состяло въ томъ, что она установила связь между поляризаціей и двойнымъ преломленіемъ. Эта мысль уже подавала большую надежду на объясненіе поляризаціи; и оставалось только найти какія-нибудь условія, которыми можно было бы опредѣлить направленіе поперечныхъ вибрацій. Анализъ этихъ условій былъ въ большей части дѣломъ Френеля, которое онъ совершилъ съ глубокимъ остроуміемъ и съ большимъ математическимъ искусствомъ.

Послѣ того какъ двойное преломленіе въ одноосныхъ кристаллахъ было объяснено волнами сфероидальной формы, было повидимому не трудно предположить, что волны въ двуосныхъ и многоосныхъ кристаллахъ могутъ быть представлены въ видѣ волнъ эллипсоидальной формы, которая отличается отъ сфероида тѣмъ, что имѣетъ не двѣ, а три неравныя оси, и слѣдовательно въ ней существуетъ такое же симметрическое отношеніе между осями, какъ между кристаллическими и оптическими явленіями. Также точно, вмѣсто того чтобы предполагать двѣ различныя степени эластичности въ двухъ различныхъ направленіяхъ, можно было бы предположить три такихъ различныхъ сте-

пени въ направленіяхъ перпендикулярныхъ одно къ другому. Подобнаго рода обобщенія—дѣло обыкновенное для математиковъ.

Но что приводитъ въ дѣйствіе одновременно всѣ эти эластичности и производитъ такимъ образомъ волны, направляемыя къ каждой изъ нихъ? И какимъ образомъ объяснить различныя поляризаціи, которыя производитъ каждая изъ этихъ особенныхъ и изолированныхъ волнъ? Это вопросы, для рѣшенія которыхъ математическій анализъ не даетъ никакихъ средствъ.

Такимъ образомъ мысль о поперечныхъ вибраціяхъ, подобно солнечному лучу, сразу освѣтила этотъ предметъ и показала возможность механической связи между всѣми этими явленіями. Если поперечныя вибраціи, проходя черезъ однородную среду, вступаютъ послѣ этого въ среду не однородную, но устроенную такъ, что эластичность ея различна въ различныхъ направленіяхъ, то спрашивается, каковъ будетъ ходъ и направленіе волнъ въ этой второй средѣ? Будутъ ли дѣйствія такой волны согласоваться съ явленіями двояко преломленнаго свѣта въ двуосныхъ кристаллахъ? Это была проблема, привлекательная для математиковъ по своей трудности и общности, и представлявшая глубокій интересъ для физиковъ; потому что отъ рѣшенія ея зависѣла судьба всей великой теоріи.

Рѣшеніе ея, полученное съ большимъ математическимъ искусствомъ, было представлено французскому Институту Френелемъ въ ноябрѣ 1821 г. и было разработано дальше въ двухъ мемуарахъ, представлен-

ныхъ въ 1822 г. Содержаніе ихъ въ высшей степени любопытно. Волны, идущія отъ отдаленнаго центра и падающія на различныя среды такъ, какъ мы это описали выше, распространяются, какъ показываютъ механическіе принципы, совершенно иначе, чѣмъ это до сихъ поръ предполагали. Поверхность волнъ, т. е. та поверхность, которая ограничиваетъ всѣ выходящія изъ центра вибраціи, есть весьма сложная, но симметрическая кривая поверхность, которая въ одноосныхъ кристаллахъ сама собою раздѣляется на сферу и сфероидъ, но которая вообще образуетъ непрерывную, двойную оболочку вокругъ центральной точки, къ которой она относится, сама себя пересѣкаетъ и снова возвращается къ себѣ. Направленія лучей опредѣляются въ двуосныхъ кристаллахъ этой кривой поверхностью подобно тому, какъ въ одноосныхъ кристаллахъ они опредѣляются сферою и сфероидомъ; и результатъ изъ этого тотъ, что въ двуосныхъ кристаллахъ оба луча претерпѣваютъ необыкновенное преломленіе по опредѣленнымъ законамъ. Это же построеніе опредѣляетъ положеніе плоскостей поляризаціи обоихъ лучей, предполагая, что плоскость поляризаціи во всякомъ случаѣ есть та плоскость, которая перпендикулярна къ поперечнымъ вибраціямъ. При этомъ оказалось, что поляризація двухъ лучей, теоретически опредѣленная Френелемъ, хотя, по своему направленію, и не совпадаетъ точно съ положеніемъ, опредѣленнымъ Біо опытнымъ путемъ, но уклоняется отъ него такъ мало, что едва ли можно сомнѣваться въ томъ, что эмпирическая

форма нѣсколько ошибочна, а теоретическая совершенно вѣрна.

Теорія Френеля получила дальнѣйшее подтвержденіе въ опытѣ, показывающемъ, что въ двуосномъ кристаллѣ (топазъ) ни одинъ изъ лучей не преломляется по обыкновенному закону, хотя до тѣхъ поръ предполагалось, что одинъ изъ двухъ лучей непремѣнно преломляется обыкновеннымъ образомъ. И эта ошибка происходила оттого, что преломленіе одного изъ лучей весьма мало разнилось отъ обыкновеннаго *). Такимъ образомъ эта прекрасная теорія не только объяснила, но и исправила одно изъ самыхъ точныхъ оптическихъ наблюденій, сдѣланныхъ прежде; и такимъ образомъ дѣйствовала на математиковъ съ непреодолимо сильною убѣдительностью. То обстоятельство, что законы двухъ повидимому столь различныхъ явленій, двойнаго преломленія и поляризаціи, были объяснены одною общей и симметрической теоріей, ясно свидѣтельствовало объ истинѣ этой теоріи.

«Еще прежде, говоритъ Френель **), чѣмъ я составилъ эту теорію, я уже былъ убѣжденъ, что невозможно найти истиннаго объясненія двойнаго преломленія, не объяснивъ въ тоже время и тѣмъ же способомъ явленій поляризаціи, которыя идутъ всегда рука объ руку съ первымъ. Поэтому, какъ только я нашелъ, каковы должны быть вибраціи, составляющія поляризацію, я тотчасъ же сталъ въ нихъ искать механическую причину двойнаго преломленія».

---

*) «Ann. Chim.» XXVIII. 264.

**) «Sur la double refraction». «Mem. Inst.» 1826. 174.



Овладѣвъ такимъ образомъ принципами и механизмомъ поляризаціи, Френель сталъ прилагать ихъ къ объясненію и другихъ явленій поляризованнаго свѣта съ такою быстротою и остроуміемъ, которыя напоминаютъ намъ ту геніальность, съ какою Ньютонъ выводилъ слѣдствія изъ принципа всеобщаго тяготѣнія. При совершеніи этого дѣла Френель принужденъ былъ допускать разныя произвольныя предположенія, которыя и теперь еще полагаютъ собою большую разницу между теоріей тяготѣнія и теоріей свѣта. Но то, что многія изъ этихъ предположеній вполнѣ подтвердились опытомъ, заставляетъ насъ удивляться счастливой смѣлости его таланта.

Проблема поляризаціи чрезъ отраженіе долгое время казалась трудной и неразрѣшимой; но посредствомъ разныхъ искусныхъ пріемовъ и предположеній и она была наконецъ осилена и побѣждена. Френель началъ съ самаго простаго случая, съ отраженіе свѣта, поляризованнаго въ плоскости отраженія, и разрѣшилъ этотъ случай съ помощью извѣстнаго закона о столкновеніи эластическихъ тѣлъ. Затѣмъ онъ взялъ другой случай, когда поляризованный свѣтъ отражается перпендикулярно къ прежнему направленію, или къ первой плоскости отраженія, и, присоединивъ къ общимъ механическимъ принципамъ гипотетическое предположеніе, что соединеніе раздѣленныхъ движеній, параллельныхъ преломляющимъ плоскостямъ, совершается по законамъ эластическихъ тѣлъ, онъ получилъ свою формулу для этого случая. Результаты его вычисленій можно было прямо сравнивать съ опытомъ; и это сравненіе, сдѣланное Араго,

подтвердило формулы Френеля. Эта же формула согласна была съ закономъ, найденнымъ Брьюстеромъ, для угла поляризаціи (см. гл. VI) *). И это обстоятельство служило поразительнымъ доказательствомъ, что въ основаніи его формулы лежитъ истина. Другой искусный пріемъ, который Френель и Араго употребили для того, чтобы опредѣлить дѣйствіе отраженія на обыкновенный свѣтъ, состоялъ въ томъ, что они брали для наблюденія лучъ, поляризованный въ плоскости, составляющей половину прямаго угла или 45° съ плоскостью отраженія; потому что въ такомъ лучѣ количества противоположно поляризованнаго свѣта таковы, какъ и въ обыкновенномъ лучѣ **); между тѣмъ какъ относительныя количества противоположно поляризованнаго свѣтя въ отраженномъ лучѣ указываются новою плоскостью поляризаціи; и такимъ образомъ эти количества становятся извѣстными и для обыкновеннаго луча. Полученные такимъ образомъ результаты подтвердились наблюденіями и значитъ все то, что было сомнительнаго и произвольнаго въ доказательствахъ и методахъ Френеля подтвердилось сличеніемъ съ явленіями опыта.

*) Угломъ поляризаціи называется тотъ уголъ, подъ которымъ лучъ свѣта долженъ падать на отражающую среду для того, чтобы послѣ отраженія онъ былъ вполнѣ поляризованъ; и тригонометрическій тангенсъ этого угла, какъ показалъ Брьюстеръ, равенъ показателю преломленія среды. (Пр. Литтрова).

**) Нужно помнить, что противоположно поляризованными лучами называются тѣ, которые поляризуются въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ одна другой. См. выше гл. VI.



Эти изслѣдованія его были напечатаны въ 1821 году *). Въ послѣдующіе годы Френель старался примѣнить свои формулы къ такимъ случаямъ, въ которыхъ онѣ повидимому теряли всякое значеніе или, выражаясь языкомъ математиковъ, становились воображаемыми; именно къ внутреннему отраженію отъ поверхностей внутри прозрачныхъ тѣлъ. Не-математикамъ можетъ показаться странною та, однако совершенно вѣрная мысль, что во многихъ случаяхъ, гдѣ формула, заключающая въ себѣ разрѣшеніе проблемы, приводитъ къ невозможнымъ, или алгебраически и ариѳметически неисполнимымъ выраженіямъ, эти формулы могутъ быть измѣнены и истолкованы такимъ образомъ, что онѣ укажутъ на вѣрное рѣшеніе вопроса. Подобное истолкованіе пытался сдѣлать Френель для случая, о которомъ мы теперь говоримъ **); и полученный имъ результатъ состоялъ въ томъ, что отраженіе свѣта чрезъ стеклянный ромбъ извѣстной формы (такъ-называемый Френелевъ ромбъ) производитъ поляризацію совершенно отличную отъ обыкновенной, именно ту поляризацію, о которой мы говорили, какъ о круговой поляризаціи. Полное подтвержденіе этого любопытнаго и неожиданнаго результата опытомъ было новымъ необыкновеннымъ тріумфомъ, которымъ ознаменовалась исторія теоріи съ тѣхъ поръ, какъ за обработку ея взялся Френель.

Все, что было сдѣлано далѣе по этому предмету, относится уже собственно къ повѣркѣ и подтвержде-

*) «Ann. Chim.» XVII.

**) «Bulletin des sciences». Febr. 1823.



нію теоріи. Теперь же мы должны сказать еще о другомъ многочисленномъ отдѣлѣ явленій, за объясненіе которыхъ принимались обѣ враждовавшія теоріи и которое гораздо удовлетворительнѣе объясняется волнообразной теоріей. Я разумѣю здѣсь явленіе деполяризованнаго или, лучше, какъ я уже сказалъ, *ди*-поляризованнаго свѣта.

§ 5. Объясненіе Диполяризаціи Волнообразной Теоріей.

Когда Араго въ 1811 г. открылъ цвѣта, производимые поляризованнымъ свѣтомъ, проходящимъ чрезъ нѣкоторые кристаллы *), то естественно было ожидать, что тотчасъ же будутъ сдѣланы попытки подвести ихъ подъ теорію. Біо, воодушевляемый удачей Малюса въ открытіи законовъ двойнаго преломленія, и Юнгъ, увѣренный въ силѣ своей теоріи, были первыми учеными, принявшимися за это дѣло. Теорія Біо, хотя она и побѣждена была окончательно противной ей теоріей, заслуживаетъ однако мѣсто въ исторіи этого предмета. Она основывалась на такъ-названной имъ Подвижной Поляризаціи. Онъ предполагалъ, что когда частички свѣта проходятъ чрезъ тонкія кристаллическія пластинки, то плоскость поляризаціи претерпѣваетъ нѣкоторое вращеніе, вслѣдствіе котораго она движется взадъ и впередъ на извѣстный опредѣленный уголъ, и именно уголъ вдвое больше угла, заключающаюся между первоначальной плоскостью

*) См. выше гл. IX.



поляризаціи и главнымъ сѣченіемъ кристалла. Промежутки времени, въ которые совершается это вращеніе, весьма малы и различны для различныхъ цвѣтовъ, подобно ньютоновскимъ расположеніямъ къ легкой передачѣ, по образцу которыхъ конечно и сосоставлена новая теорія *). Въ самомъ дѣлѣ цвѣта, являющіеся при диполяризаціи, періодичны и зависятъ отъ длины пути свѣтоваго луча черезъ кристаллъ; и теорія Біо была развита имъ такимъ образомъ, что объясняла всѣ главныя явленія извѣстныя тогда. Но многія изъ ея предположеній были основаны на спеціальныхъ обстоятельствахъ при опытахъ, а не на дѣйствительныхъ естественныхъ условіяхъ; въ ней было много несообразностей; и самый главный ея недостатокъ состоялъ въ томъ, что въ основѣ ея лежала произвольная и противорѣчащая другимъ оптическимъ фактамъ гипотеза.

Юнгъ представилъ свое объясненіе блистательныхъ явленій диполяризаціи въ «Quarterly Review» за 1814 г. Указавъ на открытія Араго, Брьюстера и Біо, онъ говоритъ: «мы не сомнѣваемся, что эти ученые также сильно удивятся, когда узнаютъ, какъ я сильно былъ обрадованъ, когда нашелъ, что эти явленія, подобно другимъ причинамъ періодическихъ цвѣтовъ, могутъ быть приведены къ общему закону интерференціи свѣта, который былъ открытъ въ моемъ отечествѣ. Здѣсь онъ конечно разумѣетъ свои собственныя преж-

*) См. статьи Араго и Біо въ «Mem. Inst.» за 1811; весь томъ за 1812 г. занятъ статьею Біо Также «Mem. Inst.» за 1817, 1818 и 1819 годы.



нія открытія. И дѣйствительно онъ объяснилъ эти явленія посредствомъ интерференціи обыкновенныхъ и необыкновенныхъ лучей. Но Араго, въ своемъ отчетѣ объ этомъ открытіи *), справедливо замѣчаетъ: «нужно однако сказать, что Юнгъ не объяснилъ ни того, при какихъ обстоятельствахъ происходитъ интерференція лучей, ни того, почему цвѣта появляются только тогда, когда на кристаллическія пластинки падаетъ свѣтъ уже предварительно поляризованный». Объясненіе этихъ обстоятельствъ зависѣло отъ законовъ интерференціи поляризованнаго свѣта, открытыхъ въ 1816 г. Араго и Френелемъ. Они доказали прямыми опытами, что если поляризованный свѣтъ расположить такъ, чтобы онъ производилъ самое очевидное явленіе интерференціи, именно цвѣтныя коймы вокругъ тѣней, то лучи свѣта, исходящіе изъ одного общаго источника и поляризованные въ параллельныхъ между собою плоскостяхъ, интерферируются вполнѣ, тогда какъ тѣ лучи, которые поляризуются въ противоположныхъ, т. е. въ перпендикулярныхъ между собой плоскостяхъ, вовсе не интерферируются **). Принимая въ соображеніе эти принципы, Френель вполнѣ объяснилъ, посредствомъ интерференціи волнъ, всѣ цвѣтныя явленія, производимыя кристаллическими пластинками; онъ показалъ необходимость поляризаціи лучей въ параллельныхъ плоскостяхъ, объяснилъ диполяризующее дѣйствіе кристалла и наконецъ опредѣлилъ роль анализующей или разлагающей пластин-

*) «Encycl. Brit.» Supp. Art. Polarization.

**) «Ann. Chim». X.



ки, посредствомъ которой нѣкоторыя части каждаго изъ двухъ лучей такъ видоизмѣняются въ кристаллѣ, что могутъ потомъ интерферироваться и производить цвѣта. Все это онъ сдѣлалъ, какъ онъ самъ говоритъ *), ничего не зная, пока ему не сказалъ Араго, о томъ, что Юнгъ уже предупредилъ его въ этомъ въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ.

Разсматривая внимательно исторію теоріи истеченія, мы можемъ судить по ней, каковъ долженъ быть естественный ходъ всякой ложной теоріи. Такая теорія сначала можетъ до нѣкоторой степени объяснять явленія, которыя представляются ей съ самаго начала; но затѣмъ для каждаго новаго класса явленій она принуждена бываетъ придумывать новыя предположенія, новыя прибавленія; и по мѣрѣ того, какъ увеличивается число наблюденій, увеличиваются и эти прибавки, не имѣющія между собою внутренней связи; и онѣ накопляются до такой степени, что наконецъ обременяютъ и совершенно разрушаютъ первоначальное искусственное зданіе. Такова была исторія гипотезы эпицикловъ, такова же и исторія гипотезы матеріальнаго истеченія свѣта. Въ своей простѣйшей формѣ послѣдняя гипотеза объясняла отраженіе и преломленіе; но для объясненія цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ понадобилась новая гипотеза о расположеніи цвѣтовъ къ легкой передачѣ и отраженію; для объясненія явленій диффракціи частичкамъ приписаны были сложныя гипотетическія силы притяженія и отталкиванія; для объясненія поляризаціи приписали имъ еще различ-

*) Ibid. XVII. 402.



ныя стороны; для объясненія двойнаго преломленія подчинили свѣтъ особымъ силамъ, вытекающимъ изъ осей кристалловъ; наконецъ двойная поляризація потребовала новаго и несостоятельнаго предположенія о подвижной поляризаціи; но и послѣ всѣхъ этихъ прибавокъ нужны были еще новыя прибавки къ этому многосложному механизму. Во всей исторіи этой теоріи не было неожиданныхъ успѣховъ, счастливыхъ совпаденій и согласованія между принципами, полученными различными путями: естествоиспытатели строили машину, но части ея не дѣйствовали; онѣ держались вмѣстѣ не внутреннею связью силы, а внѣшнимъ насильственнымъ давленіемъ. Очевидно — это признаки несвойственные истинѣ.

Напротивъ въ волнообразной теоріи все стремится къ единству и простотѣ. Преломленіе и отраженіе объясняются волнообразнымъ движеніемъ; цвѣта тонкихъ пластинокъ непосредственно вытекаютъ изъ сущности гипотезы, именно изъ длины этихъ волнъ; явленія диффракціи объясняются промежутками между волнами, и эти промежутки по величинѣ своей равняются другимъ промежуткамъ свѣтовыхъ волнъ, такъ что нѣтъ нужды придумывать новыхъ свойствъ для свѣта. Поляризація задержала нѣсколько теорію, но не на долго. Направленіемъ волнообразныхъ движеній объяснена была поляризація вполнѣ удовлетворительно. Это же самое объясненіе вполнѣ пригодилось и для другой цѣли; именно для объясненія законовъ двойнаго преломленія. Такое совпаденіе возможно было только въ истинной теоріи, а никакъ не въ ложной. Число наблюденій и явленій увеличивается; открыва-

ются факты самые разнообразные и самые странные; но теорія оказалась годною для всѣхъ ихъ. Она не прибѣгала ни къ какимъ новымъ гипотезамъ и догадкамъ, но изъ самой себя, изъ своихъ первоначальныхъ принциповъ почерпала объясненіе для всего, что представляло наблюденіе. Она объясняетъ, приводитъ въ порядокъ и упрощаетъ самые запутанные случаи, поправляетъ уже извѣстные по наблюденіямъ факты и законы, предсказываетъ и открываетъ новые еще неизвѣстные; сама становится руководителемъ своего прежняго учителя, наблюденія, и, вооружившись механическими воззрѣніями, проникаетъ своимъ взоромъ черезъ форму и цвѣтъ до силъ и причинъ.

Такова филосософская мораль этой исторіи, весьма важная для нашей цѣли. На этомъ мы и покончимъ исторію открытія и утвержденія волнообразной теоріи. Дальнѣйшіе шаги въ ея развитіи и расширеніи относятся уже къ слѣдующимъ главамъ, въ которыхъ мы будемъ говорить о ея пріемѣ и повѣркѣ.

(2-е изд.) [Въ «Философіи Индуктивныхъ Наукъ» книга XI, гл. III, отд. II., я говорилъ о совпаденіи или согласіи между индукціями, какъ объ одномъ изъ признаковъ научной истины. Въ исторіи волнообразной теоріи мы видѣли много поразительныхъ примѣровъ подобнаго совпаденія и согласія. Явленія цвѣтныхъ коймъ вокругъ тѣней и цвѣтныхъ полосъ въ кристаллическихъ пластинкахъ совпадаютъ вмѣстѣ въ теоріи вибрацій. Явленія поляризаціи и двойнаго преломленія совпадаютъ вмѣстѣ въ теоріи вибрацій въ кристаллахъ. Явленія поляризаціи и интерференціи поляризованныхъ

лучей совпадают вмѣстѣ въ теоріи поперечныхъ вибрацій.

Доказательства того, что сказано выше въ пользу волнообразной теоріи, заключаются въ исторіи ея разсказанной нами. Эта теорія «объяснила, привела въ порядокъ и упростила самые запутанные случаи»; напр. цвѣтныя коймы вокругъ тѣней, тѣни и цвѣта, производимые мелкими сѣтками, цвѣтныя полосы въ двуосныхъ кристаллахъ и въ кварцѣ. Въ Оптикѣ нѣтъ явленій болѣе запутанныхъ, чѣмъ эти. Она «поправила уже извѣстные опытные законы», напр. законъ Біо относительно направленія поляризаціи въ двуосныхъ кристаллахъ. Она сдѣлала это «не прибѣгая ни къ какимъ новымъ гипотезамъ»; потому что поперечныя направленія вибрацій, различная оптическая эластичность въ кристаллахъ въ различныхъ направленіяхъ и гипотеза о малѣйшихъ промежуткахъ между частичками (см. гл. X и далѣе, гл. XIII),—все это не новыя предположенія, но только опредѣленія и разъясненія того, что было неопредѣленнымъ въ ранней формѣ гипотезы. И вообще во всемъ, что касается свойствъ видимаго луча свѣта, я не считаю большимъ преувеличеніемъ слова Шверда, который говоритъ, «что волнообразная теорія объясняетъ явленія свѣта такъ удовлетворительно, какъ теорія тяготѣнія объясняетъ явленія солнечной системы».

Это можно сказать, даже несмотря на то, что есть еще факты, не вполнѣ объясненные волнообразною теоріею; потому что до послѣдняго времени были, да и теперь еще есть и факты солнечной системы, не объясненные теоріей тяготѣнія. И я думаю, что волнооб-

разная теорія будетъ объяснять свои необъясненные факты такъ же быстро и совершенно, какъ это дѣлала теорія тяготѣнія. Кромѣ того нужно замѣтить, что было бы вполнѣ неосновательно видѣть недостатокъ теоріи или возраженіе противъ нея въ томъ, что она не объяснила еще нѣкоторыхъ явленій, которыхъ она пока и не пыталась объяснять, и ни одинъ геніальный математикъ, способный вѣрно вывести заключеніе изъ теоріи, не бралъ на себя труда приложить ее къ объясненію этихъ явленій. Исторія теоріи тяготѣнія достаточно показываетъ, какъ необходимо имѣть въ виду это замѣчаніе и эту предосторожность. А для выведенія и объясненія результатовъ волнообразной теоріи требуется не меньше напряженнаго труда и математическаго искусства, чѣмъ сколько ихъ требовалось для развитія теоріи тяготѣнія.

Это замѣчаніе прилагается къ такимъ случаямъ, какъ напримѣръ явленія поперечныхъ коймъ на поверхностяхъ тонко исчерченныхъ въ видѣ сѣтки. Общія явленія этого рода объясняются теоріей совершенно удовлетворительно; но при нихъ замѣчается иногда перерывъ свѣта въ наклонномъ направленіи, который до сихъ поръ никакъ не могъ быть объясненъ. Однако на основаніи того, что было сдѣлано въ другихъ случаяхъ, нельзя сомнѣваться, что могутъ быть найдены нѣкоторыя интеграціи, которыя при правильномъ развитіи объяснятъ и это явленіе.

Законы оптическихъ явленій въ кристаллическихъ поверхностяхъ и въ особенности дѣйствіе этихъ поверхностей на плоскость поляризаціи были найдены и разъяснены Брьюстеромъ. Эти законы до времени

оставались необъясненными по теоріи. Но недавно Макъ-Куллохъ примѣнилъ и къ этимъ явленіямъ выводы изъ теоріи *) и получилъ законъ, который весьма точно согласуется съ опытными законами и наблюденіями Брьюстера.

Явленія, которыя Брьюстеръ въ 1837 г. назвалъ новымъ свойствомъ свѣта (нѣкоторыя особенности, являющіяся въ спектрѣ, когда на него смотрѣть, закрывъ половину глазнаго зрачка тонкимъ стекломъ, или кристалломъ), были объяснены Айри въ «Phil. Transactions» за 1840 г.

Объясненіе Айри явленій, названныхъ новымъ свойствомъ свѣта, было дополнено въ статьѣ «Phil. Magazine», ноябрь, 1846 г. Ширина являющихся при этихъ опытахъ полосъ, какъ предполагала теорія, должна была зависѣть отъ величины отверстія зрачка; но опытъ не показывалъ этой зависимости, и такимъ образомъ являлось опытное противорѣчіе этой теоріи. Въ указанной же статьѣ доказано, что предположеніе этой зависимости основывалось на нѣкоторыхъ видоизмѣненныхъ условіяхъ гипотезы, которыя не соотвѣтствуютъ опыту. Проблема же этихъ явленій разрѣшается безъ этихъ условій, и такимъ образомъ несогласіе теоріи съ опытомъ исчезаетъ, такъ что, какъ говоритъ Айри, «этотъ замѣчательный опытъ, долгое время казавшійся необъяснимымъ, представляетъ одно изъ замѣчательнѣйшихъ подтвержденій волнообразной теоріи».

Также нужно замѣтить, что не имѣетъ никакой

*) Lloyd's «Report», Brit. Assoc. 1834. 374.



силы и тотъ упрекъ, который дѣлается послѣдователямъ волнообразной теоріи за то, что они, своимъ безусловнымъ согласіемъ съ теоріею, задерживаютъ и останавливаютъ дальнѣйшія изслѣдованія, которыя могли бы или противорѣчить ей, или же подтвердить ее. Для опроверженія этого упрека мы опять должны обратиться къ исторіи теоріи тяготѣнія. Безусловное согласіе съ теоріею тяготѣнія не мѣшало математикамъ и наблюдателямъ имѣть въ виду и кажущееся опытное несогласіе съ теоріею или исключеніе изъ нея, а напротивъ даже побуждало ихъ тѣмъ съ большею ревностью заниматься вычисленіями и наблюденіями надъ этими исключеніями. Ускореніе средняго движенія, взаимныя возмущенія Юпитера и Сатурна, движенія спутниковъ Юпитера, дѣйствія сплюснутости земли на движеніе луны, движеніе луны вокругъ ея собственнаго центра и многія другія явленія изучались съ особеннымъ усердіемъ именно потому, что общая теорія тяготѣнія считалась столь убѣдительною. То же самое побужденіе заставляетъ астрономовъ и математиковъ и теперь съ особеннымъ интересомъ изучать исключенія, еще не подведенныя подъ теорію тяготѣнія и повидимому не согласныя съ ней. Математики и экспериментаторы по части Оптики, принимающіе волнообразную теорію, конечно идутъ тѣмъ же путемъ и руководятся такими же побужденіями при развитіи своихъ убѣжденій. И дѣйствительно, они съ особеннымъ усердіемъ изучаютъ явленія, еще не подходящія подъ теорію; такъ напримѣръ Айри занимается математическими изслѣдованіями о дѣйствіи круглаго отверстія, Иршау — о дѣйствіи

трехъугольнаго отверстія, Тальботъ — объясненіемъ явленій, которыя происходятъ, если держать листочекъ слюды между частью зрачка и спектромъ,—явленій, очень близко подходящихъ къ тѣмъ, о которыхъ говорилось выше, какъ о новой полярности свѣта. Къ этому же разряду принадлежатъ труды и другихъ оптиковъ, упомянутые въ разныхъ мѣстахъ нашей исторіи.

Явленія поглощенія свѣта собственно не относятся къ волнообразной теоріи, хотя нѣтъ большой трудности объяснить по этой теоріи возможность поглощенія. Но собственно, когда свѣтъ поглощенъ, онъ уже не принадлежитъ теоріи.

Потому что, какъ я уже сказалъ, теорія эта берется объяснять только явленія видимаго луча свѣта. Мы очень хорошо знаемъ, что свѣтъ имѣетъ другія отношенія и другія свойства. Свѣтъ производитъ, напримѣръ, химическое дѣйствіе. Оптическая полярность кристалла находится въ связи съ химической полярностью его состава. Естественные цвѣта тѣлъ также находятся въ связи съ ихъ химическимъ составомъ. Свѣтъ также имѣетъ связь съ теплотой. Волнообразная теорія не берется объяснять всѣхъ этихъ свойствъ и связей. Еслибы она объяснила ихъ, тогда она не была бы только теоріей свѣта, но вмѣстѣ и теоріей теплоты и теоріей химическаго дѣйствія.

Новые опыты Фарадэя показали, что магнетическая полярность находится въ прямой связи съ оптической полярностью, дѣйствующею на плоскость поляризаціи. Когда линіи магнитной силы проходятъ черезъ нѣкоторыя прозрачныя тѣла, то онѣ сообщаютъ имъ нѣкоторую спо-

собность къ круговой поляризаціи, однако отличной отъ той круговой поляризаціи, какая замѣчается въ кварцѣ и другихъ жидкостяхъ, упомянутыхъ въ IX главѣ. Можетъ быть на это открытіе можно указать какъ на дальнѣйшее разъясненіе взглядовъ, какіе я высказалъ въ «Философіи Индуктивныхъ Наукъ» насчетъ связи между Совмѣстными или Сосуществующими Полярностями (книга V, глава II).

(ПРИЛОЖЕНІЕ КЪ ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНІЮ).

Фотографія.—Я сказалъ выше, что теорія, исторію которой я изложилъ въ краткихъ чертахъ, берется объяснять только явленія видимаго луча свѣта и что, хотя мы знаемъ, что свѣтъ имѣетъ другія свойства, какъ напр. онъ производитъ химическое дѣйствіе, однако эти свойства не принадлежатъ къ области волнообразной теоріи. Химическія дѣйствія свѣта еще не могутъ быть представлены въ формѣ такихъ общихъ и точныхъ истинъ, какъ тѣ истины, изъ которыхъ состоитъ волнообразная теорія видимаго луча свѣта. Но хотя настоящее состояніе нашихъ знаній еще не даетъ намъ возможности составить науку о химическихъ дѣйствіяхъ свѣта, однако оно уже обогатило насъ весьма замѣчательнымъ искусствомъ, которое заключаетъ въ себѣ принципы для этой науки и можетъ впослѣдствіи стать орудіемъ для перенесенія этихъ принциповъ въ область философскаго естествознанія. Подъ этимъ

искусствомъ я разумѣю Фотографію, посредствомъ которой химія нашла средство приготовлять поверхности почти столь же чувствительныя къ дѣйствію свѣта, какъ самыя чувствительныя изъ органическихъ тканей, именно зрительная сѣтка глаза, и давать изображеніямъ, полученнымъ на ней, постоянство и прочность, тогда какъ изображенія на сѣтчатой оболочкѣ глаза черезъ нѣсколько мгновеній исчезаютъ. Впослѣдствіи, когда будутъ теоретически развиты и установлены законы, опредѣляющіе связь химическаго состава тѣлъ съ дѣйствіемъ на нихъ свѣта, то въ исторіи приготовительнаго періода къ такой эпохѣ займутъ весьма почетное мѣсто имена людей, которые своими познаніями, изобрѣтательностью и неутомимымъ усердіемъ открыли и довели до настоящаго удивительнаго совершенства процессы фотографическаго искусства; именно имена Ніепса и Дагерра во Франціи и Фокса Тальбота въ Англіи.

Флуоресценція.—Какъ уже было сказано, волнообразная теорія не имѣетъ своей задачей объяснять явленіе поглощенія свѣта, которое происходитъ различными путями въ то время, когда свѣтъ проходитъ черезъ различныя среды. Въ концѣ III главы этой книги я представилъ основанія, по которымъ не могу согласиться съ мнѣніемъ, будто-бы поглощеніе производитъ особенное разложеніе свѣта, различное отъ призматическаго разложенія. Что касается отношенія волнообразной теоріи къ другимъ дѣйствіямъ, производимымъ различными средами на свѣтъ, то для нея очень достаточно, если она не будетъ противорѣчить явленіямъ,

открытымъ наблюденіями; и нельзя требовать, чтобы она еще объясняла эти явленія, потому что они очевидно относятся къ другой области естествознанія.

Къ такому роду явленій принадлежатъ напр. оптическія свойства, замѣченныя недавно въ нѣкоторыхъ тѣлахъ. Сэръ Джонъ Гершель показалъ *), что нѣкоторыя жидкости, напр. растворъ хинина, который, при обыкновенныхъ обстоятельствахъ, совершенно безцвѣтенъ, получаетъ вслѣдствіе паденія на него извѣстныхъ лучей свѣта прекрасный свѣтло-голубой цвѣтъ. Кажется, что этотъ цвѣтъ происходитъ отъ поверхности, на которую прежде всего падаетъ свѣтъ; и Гершель назвалъ являющіеся такимъ образомъ цвѣта Эпиполическими, и предполагалъ Эпиполяризованный Свѣтъ. Брьюстеръ еще прежде указалъ на появленіе цвѣтовъ въ прозрачныхъ тѣлахъ и приписалъ ихъ внутреннему разсѣянію **); къ этому же разряду онъ причислялъ и цвѣта, замѣченные Гершелемъ. Профессоръ Стоксъ въ Кембриджѣ †) занялся изслѣдованіями этихъ явленій и пришелъ къ убѣжденію, что они происходятъ отъ свойственной нѣкоторымъ тѣламъ способности измѣнять свѣтъ, а слѣдовательно и преломляемость падающихъ на нихъ лучей свѣта; онъ замѣтилъ это свойство во многихъ другихъ тѣлахъ и получилъ много любопытныхъ результатовъ. Такъ какъ это измѣненіе преломляемости луча всегда совершается такимъ образомъ, что лучъ становится менѣе преломленнымъ, то предложено было назвать это

*) «Phil. Trans.» 1845. **) «Edinb. Trans.» 1833.
†) «Phil. Trans.» 1852 и 1854.



явленіе Деградаціей свѣта, или еще Зависимымъ Истеченіемъ; потому что свѣтъ въ этихъ явленіяхъ исходитъ отъ самосвѣтящихся тѣлъ, но только въ зависимости отъ дѣйствительныхъ внѣшнихъ лучей, и самое явленіе продолжается только до тѣхъ поръ, пока тѣло находится подъ вліяніемъ этихъ лучей. Въ этомъ отношеніи флуоресценція отлична отъ фосфоресценціи, въ которой свѣтъ исходитъ изъ свѣтящагося тѣла безъ этой зависимости отъ постороннихъ свѣтовыхъ лучей. Флуоресценція является особенно рѣзко и красиво въ нѣкоторыхъ родахъ фтористаго или флуористаго шпата; поэтому Стоксъ и предложилъ для нея названіе Флуоресценціи, названіе, которое имѣетъ въ себѣ то преимущество, что не заключаетъ въ себѣ указанія ни на какую гипотезу, и потому вѣроятно войдетъ во всеобщее употребленіе *).

Нужно замѣтить, что профессоръ Стоксъ отвергаетъ совершенно мысль о томъ, будто свѣтъ, извѣстнымъ образомъ преломленный, все еще сложенъ и можетъ быть разлагаемъ поглощеніемъ. Онъ говоритъ: «я знаю замѣчательное дѣйствіе поглощающихъ средъ, производящихъ кажущіяся перемѣны въ цвѣтахъ чистаго спектра; но я думаю, что эти перемѣны суть чисто субъективныя, зависящія отъ контраста».

*) См. «Phil. Trans.» 1852.

ГЛАВА XII.

Слѣдствія эпохи Юнга и Френеля.—Принятіе волнообразной теоріи.

Въ 1800 г., когда Юнгъ публиковалъ свои мнѣнія о Принципѣ Интерференціи, какъ объ истинной теоріи оптическихъ явленій, положеніе Англіи не благопріятствовало справедливой оцѣнкѣ достоинства этихъ новыхъ понятій. Ученые люди были заражены сильнымъ пристрастіемъ въ пользу гипотезы истеченій, не только вслѣдствіе національной гордости славой Ньютона и естественнаго почтенія къ его авторитету, но также и вслѣдствіе уваженія къ геометрамъ Франціи, которые считались нашими учителями въ приложеніи математики къ физикѣ и о которыхъ всѣ думали, что они держатся ньютоновскихъ воззрѣній и въ оптикѣ, какъ и въ другихъ наукахъ. Со времени Ньютона сильно преобладало въ философскомъ естествознаніи стремленіе къ атомистикѣ. Сродная этому стремленію гипотеза истеченія была такъ легко понятна, что послѣ рекомендаціи ея высокими авторитетами сдѣла-

лась общедоступною и популярною; тогда какъ гипотеза свѣтовыхъ волнъ, несравненно труднѣйшая для пониманія, даже при особенномъ напряженіи мысли, оставалась въ пренебреженіи и была почти забыта.

Однако пріемъ, который встрѣтили воззрѣнія Юнга, былъ еще болѣе неблагосклоненъ, чѣмъ можно было ожидать, судя даже по этимъ неблагопріятнымъ обстоятельствамъ. Въ Англіи въ то время не было кружка людей, которые, по своимъ знаніямъ и положенію, могли бы произнести рѣшеніе по этому вопросу, или дать извѣстный толчекъ и направленіе общественному мнѣнію. Королевское Общество, напримѣръ, уже давно, по привычкѣ ли или по убѣжденію, держалось въ сторонѣ отъ подобныхъ вопросовъ и рѣшеній ихъ. Только журналы составляли родъ самозваннаго и тайнаго трибунала, присвоившаго себѣ авторитетъ въ этихъ дѣлахъ. Между этими изданіями особенно отличалось въ то время «Edinburgh Review». Между сотрудниками его были люди съ обширными знаніями и большими талантами; они писали сильно и рѣзко, и иногда даже не совсѣмъ прилично, и потому конечно имѣли большое вліяніе. Мнѣнія и взгляды объ отвлеченныхъ предметахъ, доступныхъ только немногимъ, нужно считать только личными мнѣніями авторовъ, писавшихъ статьи. Критика прежнихъ сочиненій Юнга по оптикѣ была написана въ этомъ журналѣ Брумомъ, который, какъ мы видѣли, производилъ опыты надъ диффракціей на основаніи ньютоновскихъ воззрѣній объ инфлекціи. Брумъ въ это время былъ слишкомъ молодъ (ему было тогда 24 года), чтобы не возгордиться тѣмъ мнимымъ рѣшающимъ

авторитетомъ въ дѣлахъ науки, который давало ему его анонимное сотрудничество въ журналѣ; да и кромѣ того, и въ позднѣйшіе годы на него смотрѣли какъ на человѣка, любящаго сильныя и даже саркастическія выраженія. Въ январѣ 1803 г. явилась критика Брума *) на сочиненіе Юнга «О Теоріи Свѣта и Цвѣтовъ», въ которомъ изложено было его ученіе о волнахъ и законѣ интерференціи. Эта критика была непрерывнымъ потокомъ порицанія и упрековъ. «Это сочиненіе—говоритъ журнальный критикъ—не заключаетъ въ себѣ ничего, что заслуживало бы имени опыта, или открытія». Онъ упрекаетъ автора въ «опасномъ пренебреженіи къ принципамъ логики». «Мы желаемъ—говоритъ онъ—возвратить естествоиспытателей къ строгимъ и точнымъ методамъ изслѣдованія»; и указываетъ при этомъ на методы, которымъ слѣдовали Баконъ, Ньютонъ и др. Наконецъ о воззрѣніяхъ Юнга говорится какъ о гипотезѣ, которая есть дѣло фантазіи; и затѣмъ критикъ прибавляетъ: «въ заключеніе нашего обозрѣнія мы не можемъ не обратить вниманія Королевскаго Общества на то, что оно въ послѣднее время стало допускать въ своихъ «Transactions» такія поверхностныя и безсодержательныя статьи», и совѣтуетъ ему исправиться отъ этой неосмотрительности. То же отвращеніе къ волнообразной теоріи обнаружилось потомъ и въ другихъ статьяхъ того же автора, по поводу произведенныхъ Волластономъ измѣреній преломленія въ исландскомъ шпатѣ;

*) «Edinb. Review», vol. I, p. 450.



онъ говоритъ: «намъ очень непріятно было видѣть, что такой искусный и остроумный экспериментаторъ принимаетъ странную оптическую теорію вибрацій.» Критикъ обнаружилъ въ этихъ своихъ замѣчаніяхъ только свое невѣжество и предразсудки. Юнгъ написалъ ему очень дѣльный отвѣтъ; но онъ мало былъ извѣстенъ, такъ какъ напечатанъ былъ отдѣльной брошюрой. Нѣтъ никакого сомнѣнія, что подобные критики въ «Edinburgh Reviews» много содѣйствовали утвержденію общаго нерасположенія къ принятію волнообразной теоріи.

Къ этому мы можемъ прибавить, что самый методъ изложенія Юнга не способенъ былъ внушать особенное расположепіе къ его воззрѣніямъ; потому что его математическія доказательства дѣлали его сочиненія недоступными для обыкновенныхъ читателей, тогда какъ недостатокъ симметріи и системы въ его символическихъ вычисленіяхъ лишалъ ихъ привлекательности для математиковъ. Онъ самъ очень вѣрно охарактезировалъ свой слогъ и стиль, говоря о другомъ своемъ сочиненіи *): «математическія доказательства мои по недостатку символическихъ знаковъ не были поняты даже порядочными математиками. По нерасположенію къ аффектаціи алгебраическими формулами, какъ я замѣтилъ у нѣкоторыхъ иностранныхъ ученыхъ, я пришелъ къ подобной же аффектаціи и преувеличенію простоты, которая равно не нравится ученому читателю».

*) «Life of Young», 54.



Юнгъ, кажется, самъ понималъ свою неспособность вызвать расположеніе или даже хоть вниманіе публики къ своимъ открытіямъ. Въ 1802 г. Деви писалъ къ одному своему другу: «знаете ли вы теорію моего товарища Юнга, которая принимаетъ за причину свѣта волнообразное движеніе эѳирной среды? Она не можетъ сдѣлаться популярной гипотезой послѣ того, что сказано о ней Ньютономъ. Ему было бы весьма пріятно, еслибы вы сдѣлали объ ней нѣсколько замѣчаній въ пользу ея, или хоть даже противъ нея.» Юнгъ конечно вполнѣ сознавалъ свою силу и возможность опровергнуть возраженія противъ него; и онъ только ждалъ, чтобы по поводу его теоріи завязался гласный общеизвѣстный споръ.

Брьюстеръ, обогатившій въ это время Оптику большимъ количествомъ новыхъ явленій и законовъ, раздѣлялъ общее нерасположеніе къ волнообразной теоріи, которое онъ съ трудомъ побѣдилъ въ себѣ только спустя 30 лѣтъ. Волластонъ былъ человѣкъ, который по своему складу долгое время могъ заниматься только явленіями, не доискиваясь ихъ причинъ; и кажется, что онъ даже для себя не рѣшилъ, какая изъ двухъ враждебныхъ теорій вѣрнѣе. Гершель младшій сначала раздѣлялъ общее математическое пристрастіе къ теоріи истеченія. Даже послѣ того, какъ онъ самъ изслѣдовалъ явленія двойной поляризаціи, онъ старался согласить ихъ съ теоріей истеченія посредствомъ подвижной поляризаціи. Въ 1819 г. онъ все еще держался этой теоріи и занимался развитіемъ ея; онъ говорилъ, что она въ исправленномъ видѣ и по устраненіи всѣхъ бывшихъ въ ней несообразностей и за-

трудненій, можетъ стать наряду съ ученіемъ о расположеніи свѣта къ легкой передачѣ и отраженію, какъ общій и простой физическій законъ. Это сужденіе вѣрно, но въ настоящее время оно уже не можетъ быть похвалой, какъ было прежде. Впослѣдствіи времени онъ говорилъ, что теорія истеченія такъ же далеко подвинулась бы впередъ, еслибы ее такъ усердно разработывали, какъ теорію волнообразныхъ движеній. Это мнѣніе было неосновательно послѣ испытанія обѣихъ теорій при объясненіи диффракціи, и было уже въ высшей степени странно послѣ прекраснаго объясненія, даннаго Френелемъ двойному преломленію и поляризаціи. Даже въ 1827 г., въ статьѣ «о Свѣтѣ», напечатанной въ «Encyclopaedia Metropolitana», онъ посвящаетъ цѣлый отдѣлъ вычисленіямъ относительно Ньютоновой теоріи свѣта, и повидимому думаетъ, что побѣда въ борьбѣ двухъ теорій еще не рѣшена. Но уже и здѣсь онъ должнымъ образомъ цѣнитъ нѣкоторыя преимущества новой теоріи. Во введеніи къ этой теоріи онъ говоритъ: «не разработанныя воззрѣнія Ньютона и мнѣнія Гука о волнообразной теоріи, какъ бы они ни были отчетливы, не могутъ сравниться и даже едва заслуживаютъ упоминанія въ сравненіи съ прекрасной, простой и многообъемлющей теоріей Юнга, которая, хотя и не имѣетъ основаній въ природѣ, однако есть одна изъ счастливѣйшихъ догадокъ, какую когда-либо придумывали ученые для объясненія и объединенія естественныхъ явленій, которыя при первомъ ихъ открытіи казались въ несогласимомъ противорѣчіи между собой. Въ самомъ дѣлѣ, эта теорія во всѣхъ своихъ приложе-

ніяхъ и подробностяхъ есть непрерывный рядъ удачъ и счастья; такъ что намъ почти хочется сказать, что если она и не вѣрна, то заслуживаетъ быть вѣрной».

Во Франціи теорія Юнга, за исключеніемъ Араго, мало кому была извѣстна, пока Френель не обнародовалъ своей теоріи подобной ей. И хотя мнѣнія Френеля о волнообразной теоріи были приняты не такъ сурово, однако и они встрѣтили не малую оппозицію со стороны старыхъ математиковъ и весьма медленно распространялись между учеными людьми. Араго вѣроятно сразу принялъ бы мысль о поперечныхъ вибраціяхъ, когда она была высказана его товарищемъ Френелемъ, еслибы онъ не былъ членомъ Института и если бы ему первому не приходилось выдерживать нападенія, которыя дѣлались на волнообразную теорію во время частыхъ споровъ, происходившихъ въ засѣданіяхъ Института, гдѣ Лапласъ и другіе руководящіе члены такъ сильно противились волнообразной теоріи, что даже не могли спокойно выслушивать доводовъ въ ея пользу. Я не знаю, до какой степени вліянія этого рода были причиной того, что такъ долго откладывалось печатаніе мемуаровъ Френеля. Какъ мы уже видѣли, Френель пришелъ къ мысли о поперечныхъ вибраціяхъ въ 1816 г., и считалъ эту мысль вѣрнымъ ключемъ къ объясненію поляризаціи. Въ 1817 и 1818 гг. онъ читалъ въ Институтѣ мемуары, въ которыхъ онъ анализировалъ и объяснялъ запутанныя явленія въ кварцѣ и приписывалъ ихъ круговой поляризаціи. Эти мемуары не были напечатаны; даже никакого извлеченія изъ нихъ не было помѣщено въ ученыхъ журналахъ въ 1822 г.,

когда онъ уже подтвердилъ свои воззрѣнія дальнѣйшими опытами *). Его замѣчательный мемуаръ, въ которомъ онъ разрѣшилъ удивительную и капитальную проблему связи между двойнымъ преломленіемъ и кристаллизаціей, написанный въ 1821 г., былъ напечатанъ только въ 1827 г. Въ это время Френель кажется искалъ другихъ путей для обнародованія своихъ сочиненій. Въ 1822 г. онъ напечаталъ въ «Annales de Chimie et de Physique» **) объясненіе преломленія на основаніи принциповъ волнообразной теоріи, ссылаясь на то, что его теорія еще мало извѣстна. Въ слѣдующіе годы въ томъ же изданіи была напечатана его теорія отраженія. Его мемуаръ объ этомъ предметѣ (Mémoire sur la loi des modifications, que la réflexion imprime à la lumière polarisée) былъ читанъ въ академіи наукъ въ 1823 г. Но оригинальная рукопись этого мемуара была куда-то заброшена и долгое время считалась потерянною; но впослѣдствіи она была найдена въ бумагахъ Фурье и напечатана въ XI томѣ мемуаровъ академіи †). Нѣкоторыя изъ его воззрѣній, о которыхъ онъ говоритъ, что представлялъ ихъ парижской академіи, никогда нигдѣ не были напечатаны ††).

Тѣмъ не менѣе работы и заслуги Френеля были признаны нѣкоторыми знаменитыми его соотечественниками. Его мемуаръ о диффракціи былъ, какъ мы уже

---

*) Гершель, «*Трактатъ о свѣтѣ*», стр. 539.

**) «Ann. Chim.», 1822. XXI, 235.

†) Lloyd, «*Report on Optics*», p. 353, 4 rep. Brit. Ass.

††) Ibid. p. 316.

видѣли, увѣнчанъ преміею въ 1819 г.; а въ 1822 г. коммиссія, состоявшая изъ Ампера, Фурье и Араго, представила отчетъ о его мемуарѣ о двойномъ преломленіи. Въ этомъ отчетѣ *) говорится, что теорія Френеля подтверждается самыми тонкими наблюденіями. Составители отчета говорятъ, что «о теоретическихъ идеяхъ Френеля объ особенномъ родѣ волнообразныхъ движеній, изъ которыхъ, по его мнѣнію, состоитъ свѣтъ, не возможно еще въ настоящее время произнести рѣшительное сужденіе; но что они не считаютъ справедливымъ откладывать долѣе обнародованіе ученой работы, трудность которой доказывается многими неудавшимися усиліями самыхъ искусныхъ естествоиспытателей и въ которой блистательнымъ образомъ обнаруживается наблюдательный талантъ и изобрѣтательный умъ».

Между тѣмъ во Франціи завязался между учеными жаркій споръ о теоріи Волнообразныхъ Движеній и теоріи Подвижной Поляризаціи, которую предложилъ Біо съ цѣлью объяснить цвѣта, производимые диполяризующими кристаллами. Было ясно, что въ нѣкоторыхъ пунктахъ обѣ теоріи сходятся между собой; что напр. интервалы интерференціи по одной теоріи соотвѣтствовали интерваламъ качаній плоскости поляризаціи по другой. Но эти послѣдніе интервалы въ объясненіи Біо были произвольными гипотезами, вытекавшими только изъ тѣхъ фактовъ, которые объяснялись ими; между тѣмъ какъ по теоріи Френеля

*) «Ann Chim.», XX, 343.



эти интервалы были существенною частью общей мысли, или общей схемы. И потому Біо, кажется, не прочь былъ отъ примиренія; потому что онъ признался Френелю *), что «теорія волнообразныхъ движеній обнимаетъ явленія съ высшей точки зрѣнія и развиваетъ ихъ далѣе.» И Біо вѣроятно не могъ не согласиться съ высказаннымъ въ отчетѣ мнѣніемъ Араго, что взгляды Френеля «связывали» (nouait) качанія его подвижной поляризаціи, такъ что она уже не можетъ больше качаться. Но Френель, гипотеза котораго была вполнѣ цѣльною, не могъ уступить ни одной части ея, хотя и признавалъ пользу формулъ Біо. Однако воззрѣнія Біо гораздо больше согласовались съ воззрѣніями авторитетныхъ парижскихъ математиковъ. О томъ, какимъ почетомъ и расположеніемъ пользовались взгляды Біо, можно судить по тому, какъ много мѣста занимаютъ они въ изданіяхъ академіи за 1811, 1812, 1817 и 1818 годы. Въ 1812 г. цѣлый томъ наполненъ мемуаромъ Біо о подвижной поляризаціи. Это ученіе, кромѣ того, имѣло еще то преимущество, что оно раньше явилось въ свѣтъ въ дидактической формѣ въ «Traité de Physique» Біо, который былъ напечатанъ въ 1816 г. и который былъ въ то время самымъ полнымъ сочиненіемъ объ общей физикѣ. Въ этомъ и другихъ сочиненіяхъ Біо всѣ оптическія явленія облекаетъ въ форму своей гипотезы до такой степени, что ихъ нельзя отдѣлить отъ нея.

Впослѣдствіи Араго сдѣлался однимъ изъ ревностныхъ противниковъ Біо; и въ своемъ отчетѣ о

---

*) «Ann. Chim.», XVII, 251.



мемуарѣ Френеля о цвѣтахъ, производимыхъ кристаллическими пластинками, Араго, съ особенной строгостью разобралъ слабыя стороны теоріи Подвижной Поляризаціи. Мы не будемъ излагать здѣсь подробности этого спора; но замѣтимъ только, что онъ можетъ считаться послѣдней битвой за теорію истеченія между извѣстными математиками. Послѣ этого кризиса войны, теорія подвижной поляризаціи потеряла кредитъ; и, послѣ этого, объясненія волнообразной теоріи и вычисленія, относящіяся къ ней, были напечатаны въ «Annales de Chimie et de Physique», въ которыхъ однимъ изъ редакторовъ былъ Араго, и тотчасъ же разошлись по всей Европѣ.

Вѣроятно вслѣдствіе упомянутыхъ нами отсрочекъ и затягиваній обнародованія мемуаровъ Френеля, Петербургская академія наукъ предложила уже въ декабрѣ 1826 г. на премію слѣдующую задачу: «защитить оптическую систему волнъ отъ всѣхъ возраженій, которыя съ нѣкоторой основательностью могутъ быть представлены противъ нея и примѣнить ее къ объясненію поляризаціи двойнаго преломленія свѣта». Въ подробной программѣ, объявлявшей объ этой задачѣ, вовсе не упоминалось объ изслѣдованіяхъ Френеля, хотя его мемуаръ о диффракціи и былъ указанъ; и такимъ образомъ изслѣдованія Френеля вѣроятно были неизвѣстны русской академіи.

На Юнга всегда смотрѣли какъ на человѣка съ удивительно разнообразными талантами и съ широкими познаніями; но при жизни своей онъ не занималъ между великими открывателями того почетнаго мѣста, какое навѣрное дастъ ему потомство. Въ 1820

г. онъ сдѣланъ былъ иностраннымъ секретаремъ въ Королевскомъ Обществѣ и занималъ эту должность въ теченіе всей жизни. Въ 1827 г. онъ былъ избранъ въ число 8 иностранныхъ членовъ Французскаго Института,—величайшая честь, какой могъ удостоиться тогда ученый. Судьба его жизни въ другихъ отношеніяхъ была различна. Занятія его по должности врача отнимали у него много времени и труда, но недостаточно вознаграждали его. Какъ преподаватель въ Королевскомъ Институтѣ, онъ былъ на своихъ лекціяхъ слишкомъ глубокъ и ученъ, чтобы быть популярнымъ. Его обязанности, какъ суперъ-интендента «Nautical Almanac», требовали отъ него много мелкихъ работъ и подвергали его многимъ дерзкимъ нападкамъ памфлетистовъ. Съ другой стороны онъ игралъ главную роль въ открытіи такъ долго отыскиваемаго ключа къ египетскимъ іероглифамъ [1]; и такимъ образомъ два великія открытія, ознаменовавшія его время, одно въ наукѣ, а другое въ литературѣ, сдѣланы были при его участіи и содѣйствіи. Юнгъ умеръ въ 1829 г., на 55 г. жизни. Френель былъ похищенъ у науки еще преждевременнѣе, въ 1827 г., на 39 г. своей жизни.

Намъ нѣтъ нужды говорить здѣсь о томъ, что оба эти великіе естествоиспытателя отличались въ высшей степени тѣми качествами ума, какія необходимы для дѣланія великихъ открытій—совершенной ясностью воззрѣнія, богатой и плодовитой изобрѣтательностью и напряженной любовью къ знаніямъ. Нельзя безъ

---

[1]) См. въ приложеніяхъ статью: «*Іероглифы*».

особеннаго интереса читать письмо Френеля къ Юнгу въ ноябрѣ 1824 г., гдѣ онъ говоритъ: «во мнѣ давно уже ослабѣла та раздражительность, или суетность, которую толпа называетъ любовью къ славѣ. Я работаю не для того, чтобы получить всеобщее одобреніе публики, но для того, чтобы пріобрѣсти собственное внутреннее довольство и одобреніе, которое было для меня всегда лучшей наградой моихъ трудовъ. Безъ сомнѣнія, у меня не доставало того стремленія къ славѣ, которое должно было бы побуждать меня продолжать свои работы въ часы нерасположенія и разочарованія. Но всѣ похвалы, которыя я получалъ отъ Араго, Лапласа, или Біо, не доставляли мнѣ такого удовольствія, какъ открытіе теоретической истины, или подтвержденіе моихъ вычисленій опытомъ *)».

Хотя Юнгъ и Френель были современниками людей, изъ которыхъ многіе живутъ еще въ настоящее время, однако мы должны уже считать себя потомствомъ относительно ихъ. Эпоха индукціи въ оптикѣ уже прошла и намъ остается теперь излагать подтвержденія и примѣненія истинной теоріи.

---

*) Я имѣлъ возможность привести здѣсь это и нѣкоторыя другія извлеченія изъ неизданной переписки Юнга и Френеля только благодаря любезности профессора Пикока въ Trinity college въ Кембриджѣ, который издалъ теперь біографію Юнга.



ГЛАВА XIII.

Подтвержденіе и расширеніе Волнообразной Теоріи.

ХОТЯ Волнообразная Теорія и развита была во всѣхъ существенныхъ чертахъ своими великими основателями Юнгомъ и Френелемъ, и хотя признаки ея истинности не подлежатъ ни малѣйшему сомнѣнію; однако и для нея, какъ и для другихъ великихъ теорій, было время, когда нужно было устранять трудности, отвѣчать на возраженія и ближе познакомить умы людей съ новыми воззрѣніями, представляемыми новой теоріей; и когда такимъ образомъ естественно ожидать, что новая теорія будетъ распространена и на такіе факты, которые сначала не входили въ ея область. Это время и есть то, въ которое мы живемъ; и намъ можетъ быть слѣдовало не говорить о нашихъ еще живущихъ современникахъ. Но было бы несправедливо относительно теоріи не указать на замѣчательнѣйшія событія, совершившіяся въ этотъ періодъ и характеризующія его. И потому мы здѣсь кратко упомянемъ объ нихъ.

Въ исторіи этой великой теоріи, какъ и въ исторіи тяготѣнія, самыя замѣчательныя изъ изслѣдованій, подтверждавшихъ теорію, были сдѣланы самими же первыми составителями ея и преимущественно Френелемъ. И когда мы видимъ, что̀ онъ задумалъ и исполнилъ для этой цѣли, то намъ невольно вспоминается при этомъ Ньютонъ, на котораго Френель нѣсколько походитъ удивительной изобрѣтательностью и остроуміемъ, съ которыми онъ умѣлъ выбирать опыты и прилагать къ нимъ математическія вычисленія.

1. Двойное преломленіе въ сжатомъ стеклѣ. Однимъ изъ такихъ подтверждающихъ опытовъ было возбужденіе въ стеклѣ двойной поляризаціи посредствомъ сжатія его. Френель замѣчаетъ *), что хотя Брьюстеръ и показалъ уже, что стекло, подверженное извѣстному сжатію, производитъ цвѣта, похожіе на тѣ, которые производятся двояко преломляющими кристаллами, однако «самые искусные физики не считали этихъ опытовъ достаточнымъ доказательствомъ раздвоенія свѣта въ стеклѣ». Въ гипотезѣ о подвижной поляризаціи, прибавляетъ онъ, нѣтъ никакой видимой связи между этими явленіями цвѣтовъ и двойнаго преломленія; между тѣмъ какъ по теоріи Юнга, по которой цвѣта происходятъ отъ двухъ лучей, прошедшихъ черезъ кристаллъ съ различной скоростью, почти необходимо слѣдуетъ допустить, что пути этихъ двухъ лучей различны.

«Хотя я—говоритъ онъ—уже давно раздѣлялъ это

*) «Ann. de Chim.» vol. XX, p. 377.



мнѣніе, однако оно не казалось мнѣ до такой степени вполнѣ доказаннымъ, чтобы можно было пренебрегать опытнымъ подтвержденіемъ его». Поэтому онъ, въ 1819 г. рѣшился убѣдиться въ этомъ помощью явленій диффракціи. Опыты его не оставляли ни малѣйшаго сомнѣнія; но ему непремѣнно хотѣлось еще произвести два изображенія посредствомъ сжатаго стекла; и посредствомъ въ высшей степени остроумной комбинаціи, имѣвшей въ виду увеличить дѣйствіе двойнаго преломленія, которое весьма слабо въ стеклѣ, даже если стекло сжато очень сильно, ему удалось наконецъ получить два отдѣльныхъ отчетливыхъ изображенія. Такимъ образомъ предположенная на основаніи общей теоріи и вполнѣ подтвердившаяся опытомъ зависимость диполяризующей структуры тѣла отъ двояко преломляющаго состоянія его частичекъ можетъ считаться, какъ онъ говоритъ, новымъ случаемъ, доказывающимъ вѣрность принципа интерференціи.

2. Круговая поляризація. Послѣ этого Френель обратилъ свое вниманіе на другой рядъ явленій, имѣвшихъ связь съ этими явленіями; но эта связь была до такой степени скрыта, что ее могъ отгадать только его острый и ясный умъ. Со времени открытія Араго и Біо диполяризованныхъ цвѣтовъ, на оптическія свойства кварца смотрѣли какъ на нѣчто особенное, ему одному свойственное. Въ концѣ своего вышеупомянутаго нами трактата *), Френель говоритъ: «какъ только позволятъ мнѣ мои настоящія занятія, я стану

*) «Ann. Chim» 1822. XX. p. 382.

дѣлать опыты съ столбомъ изъ призмъ, подобнымъ вышеописанному, съ тѣмъ чтобы изучить двойное преломленіе лучей, проходящихъ чрезъ кристаллъ кварца по направленію его осей». Затѣмъ онъ смѣло предсказываетъ, какихъ явленій онъ ожидаетъ отъ этихъ опытовъ. Въ «Bulletin des Sciences» за декабрь 1822 г. *) заявлено, что опытъ подтвердилъ его ожиданія.

Явленія этого рода названы были круговой поляризаціей; и этотъ терминъ употребленъ прежде всего въ трактатѣ Френеля. Они весьма замѣчательны, какъ своимъ сходствомъ съ явленіями прямолинейно поляризованнаго свѣта, такъ и своей разницей отъ этихъ явленій. Но еще замѣчательнѣе самихъ явленій тотъ способъ, посредствомъ котораго Френель предсказалъ ихъ. Убѣдившись посредствомъ опытовъ, что два различно поляризованные луча, вполнѣ отразившись отъ внутренней поверхности стекла, претерпѣваютъ различныя замедленія ихъ колебаній, онъ примѣнилъ къ нимъ формулы, полученныя имъ прежде для поляризующаго дѣйствія отраженія. Но эти формулы въ примѣненіи къ настоящему случаю выражали невозможность. «Однако, — говоритъ онъ **), — я старался истолковать казавшимся мнѣ естественнымъ и вѣроятнымъ способомъ то, на что указывала эта мнимая формула». И посредствомъ этого истолкованія онъ дошелъ до закона различныхъ качаній двухъ лучей. Вслѣдствіе этого онъ получилъ возможность предсказать, что лучъ поляри-

*) «Ann. Chim.» XX.
**) «Bulletin des Sciences», 1823.



зованный, вслѣдствіе двухъ внутреннихъ отраженій въ стеклянномъ ромбѣ или параллелопипедѣ извѣстной формы и при извѣстномъ положеніи, получаетъ круговыя вибраціи своихъ частичекъ; и, какъ онъ заключилъ изъ этого, такое состояніе луча обнаруживаетъ особенныя свойства, отчасти похожія на свойства поляризованнаго свѣта, отчасти отличныя отъ нихъ. Это необыкновенное предсказаніе вполнѣ подтвердилось; и такимъ образомъ повидимому смѣлая и странная догадка оказалась справедливой, или по крайнѣй мѣрѣ съ нею согласились самые осторожные естествоиспытатели. «Такъ какъ я,—говоритъ Айри *),—не могу оцѣнить математическаго доказательства свойствъ круговой поляризаціи, то я приведу по крайней мѣрѣ опытное доказательство, на основаніи котораго я ее принимаю». И съ тѣхъ поръ воззрѣнія Френеля на круговую поляризацію стали общеприняты.

Получивъ такимъ образомъ круговую поляризацію лучей, Френель замѣтилъ, что онъ можетъ объяснить явленія въ кварцѣ, уже замѣченныя Араго, предположивъ, что два кругово-поляризованные луча проходятъ по его оси съ различными скоростями. Этимъ же можетъ быть объяснена любопытная послѣдовательность въ цвѣтахъ, которые въ круговомъ порядкѣ поперемѣнно обращаются то на правую, то на лѣвую сторону, о чемъ мы уже говорили.

Но можетъ быть эта гипотеза двухъ кругово-поляризованныхъ лучей, проходящихъ по длинѣ оси таких кристалловъ, принята была только для того,

---

*) «Camb. Trans.», IV, 81; 1831.

чтобы объяснить только одно это явленіе? Остроуміе Френеля дало ему возможность устранить это возра женіе противъ его гипотезы. Если въ самомъ дѣлѣ существуетъ два такихъ луча, то ихъ можно сдѣлать видимыми отдѣльно *) посредствомъ того же самаго пріема, т. е. столба изъ призмъ, настоящимъ образомъ ахроматизованныхъ, которыя онъ уже употреблялъ для сжатаго стекла. И въ результатѣ онъ дѣйствительно получилъ такое замѣтное раздѣленіе лучей; этотъ же результатъ былъ подтвержденъ и другими, напр. Айри **). Было найдено, что лучи эти во всѣхъ отношеніяхъ тожественны съ кругово-поляризованными лучами, производимыми внутреннимъ отраженіемъ во френелевомъ ромбѣ. Этотъ родъ двойнаго преломленія далъ гипотетическое объясненіе законовъ, которые получилъ Біо для объясненія явленій этого рода; напр. объяснилъ то правило †), что уклоненіе плоскости поляризаціи выходящаго луча обратно пропорціонально квадрату длины волны для каждаго рода лучей. И такимъ образомъ явленія, производимыя свѣтомъ, проходящимъ по длинѣ осей кварца, были приведены въ полное согласіе съ теоріей.

(2-е изд.) [Я думаю однако, что Френель вывелъ это явленіе изъ математическихъ формулъ не безъ предварительной помощи опыта. Онъ замѣтилъ нѣкоторые факты, которые указывали на разницу въ замедленіи скорости двухъ различно поляризованныхъ

*) «Bull. de Sc.» 1822, 193.
**) «Cambr. Trans.» IV, 80.
†) «Bull. de Scienc.» 1822, 197.



лучей при полномъ отраженіи; подобно тому, какъ Брьюстеръ замѣтилъ при отраженіи отъ металловъ явленія, имѣющія подобный же характеръ. Когда такимъ образомъ общій фактъ былъ замѣченъ, то Френель уже на основаніи одной теоріи открылъ законъ этого замедленія и опредѣлилъ напередъ, какъ нужно устроить и расположить поляризующую среду для того, чтобы одинъ изъ лучей замедлялся на четверть волны противъ другаго и чтобы отъ этого произошла круговая поляризація.

Мы можемъ упомянуть здѣсь о другомъ опытѣ Френеля, какъ еще болѣе любопытномъ подтвержденіи этого закона. Онъ опредѣлилъ углы, какіе долженъ имѣть кругово-поляризующій ромбъ, предположивъ, что происходитъ четыре внутреннихъ отраженія вмѣсто двухъ; два изъ четырехъ происходятъ тогда, когда поверхность суха, и другія два — когда она смочена. Затѣмъ былъ сдѣланъ ромбъ съ такими углами; и когда всѣ точки отраженія были сухи, то свѣтъ не давалъ круговой поляризаціи, когда же двѣ точки были смочены, то свѣтъ давалъ круговую поляризацію, а когда наконецъ всѣ точки были смочены, то свѣтъ не давалъ круговой поляризаціи.]

3. Эллиптическая поляризація въ кварцѣ. Мы переходимъ теперь къ одному изъ тѣхъ немногихъ прибавленій къ теоріи Френеля, которыя оказались необходимыми и сдѣланы были другими. Френель вполнѣ объяснилъ цвѣта, производимые лучами, которые проходятъ по длинѣ осей кварцовыхъ кристалловъ, и также цвѣта и перемѣны центральнаго изображенія, которое происходитъ тогда, когда поляризо-

ванный свѣтъ проходитъ чрезъ поперечную пластинку такихъ кристалловъ. Но это центральное изображеніе окружено еще цвѣтными кольцами. Какъ объяснить по теоріи эти кольца?

Это объясненіе сдѣлано было Айри *). Его гипотеза состоитъ въ слѣдующемъ: лучи, проходящіе подлѣ оси кристаллическаго кварца, даютъ круговую поляризацію, тогда какъ лучи, идущіе наклонно къ этой оси, поляризуются эллиптически, и эта эллиптичность зависитъ какимъ-то неопредѣленнымъ образомъ отъ степени наклоненія; каждый лучъ двойнымъ преломленіемъ раздѣляется на два луча, поляризованные эллиптически: одинъ вправо, а другой влѣво. При помощи такихъ предположеній онъ объяснилъ не только простыя явленія въ отдѣльной пластинкѣ кварца, но и многія весьма запутанныя и сложныя явленія, которыя являются при соединеніи двухъ пластинокъ и которыя на первый взглядъ представляются неподчиненными никакому закону и симметріи, каковы напр. спирали, кривыя, приближающіяся къ формѣ квадрата, и кривыя, пересѣченныя въ четырехъ мѣстахъ. «Трудно себѣ представить, — говоритъ онъ весьма справедливо, — чтобы какое-нибудь другое предположеніе могло представить эти явленія съ такою крайнею точностью. Меня поражаетъ не столько объясненіе постояннаго расширенія цвѣтныхъ круговъ и предуказаніе теоретически формы спирали, сколько объясненіе временныхъ уклоненій отъ симметріи, какъ напр. когда круги становятся почти квадратными и кресты наклоняются

*) «Cambr. Trans.» IV. 83 и слѣд.



къ плоскости поляризаціи. И я увѣренъ, что всякій, кто пойдетъ путемъ моихъ изслѣдованій и повторитъ мои опыты, будетъ пораженъ совершеннымъ согласіемъ между ними» *).

4. Дифференціальное уравненіе эллиптической поляризаціи. Хотя круговая и эллиптическая поляризаціи могутъ быть представлены ясно и хотя существованіе ихъ, какъ кажется, неопровержимо доказывается явленіями, однако чрезвычайно трудно представить себѣ, каково должно быть расположеніе частичекъ въ тѣлахъ, посредствомъ котораго можно было бы объяснить механически движенія, обнаруживающіяся эллиптической поляризаціей. И эта трудность увеличивается вслѣдствіе того, что нѣкоторыя жидкости и даже газы производятъ въ свѣтѣ круговую поляризацію; и въ этихъ тѣлахъ мы не можемъ представить себѣ никакого опредѣленнаго и постояннаго расположенія частичекъ, которое могло бы составить механизмъ, нужный для объясненія круговой поляризаціи. Поэтому едвали кому-нибудь удастся составить объ этомъ предметѣ хоть какую-нибудь вѣроятную гипотезу. Однако уже и теперь сдѣлано нѣчто въ этомъ отношеніи. Профессоръ Макъ-Куллохъ въ Дублинѣ открылъ, что, видоизмѣнивъ нѣсколько аналитическія формулы, составленныя для обыкновеннаго распространенія свѣта, мы можемъ получить другія формулы, которыя даютъ такія движенія, какія мы видимъ при круговой эллиптической поляризаціи. И хотя мы не въ состояніи понять механическое значе-

*) «Cambr. Trans.» IV, 122.

ніе этихъ обобщенныхъ формулъ, однако это обобщеніе сводитъ вмѣстѣ и объясняетъ однимъ общимъ математическимъ выраженіемъ два отдѣльные класса явленій, — обстоятельство, которое, во всякомъ случаѣ, много говоритъ въ пользу гипотезы.

Пріемъ Макъ-Куллоха состоитъ въ томъ, что онъ къ двумъ уравненіямъ движенія свѣта, которыя выражаются посредствомъ вторыхъ дифференціаловъ, прибавляетъ еще другой простой и симметрическій членъ, заключающій въ себѣ третій дифференціалъ. Этимъ онъ вводитъ новый коэффиціентъ, величина котораго опредѣляетъ какъ величину вращснія поляризаціи луча проходящаго по длинѣ оси, открытаго и измѣреннаго Біо, такъ и эллиптичность поляризаціи луча, который наклоненъ къ этой оси согласно теоріи Айри, который измѣрилъ эту эллиптичность. Согласіе между этими двумя измѣреніями *), поставленными такимъ образомъ въ связь между собою, поразительно и сильно подтверждаетъ гипотезу Макъ-Куллоха. Кромѣ того вѣроятно, что подтвержденіе этой гипотезы вмѣстѣ съ тѣмъ служитъ, хотя еще неяснымъ и загадочнымъ подтвержденіемъ самой волнообразной теоріи, которая составляетъ основной пунктъ всѣхъ этихъ любопытныхъ соображеній.

5. Эллиптическая поляризація металловъ. Уже съ самаго начала было извѣстно, что отраженіе свѣта отъ металловъ отлично отъ того отраженія, какое производятъ прозрачныя тѣла. Сэръ Давидъ Брьюстеръ, который недавно изслѣдовалъ этотъ предметъ очень

---

*) «Royal Ir. Trans.» 1836



подробно *), назвалъ видоизмѣненія свѣта, производимыя отраженіемъ отъ металловъ, эллиптической поляризаціей. Употребивъ это выраженіе, онъ, какъ говорятъ **), хотѣлъ этимъ избѣжать подведенія его подъ какую-нибудь уже извѣстную теорію. Однако законы, которые онъ получилъ, относятся къ эллиптически поляризованному свѣту, въ томъ смыслѣ, въ какомъ этотъ терминъ былъ введенъ Френелемъ. Тождество свѣта, произведеннаго отраженіемъ отъ металловъ, съ эллиптически поляризованнымъ свѣтомъ, по волнообразной теоріи, поставлено внѣ всякаго сомнѣнія замѣчаніемъ Айри, что кольца одноосныхъ кристалловъ, производимыя эллиптически поляризованнымъ свѣтомъ Френеля, совершенно такія же, какія производитъ металлическій свѣтъ Брьюстера.

6. Ньютоновы кольца въ поляризованномъ свѣтѣ. Другія видоизмѣненія явленій, производимыя тонкими пластинками въ поляризованномъ свѣтѣ, представляютъ новое и поразительное подтвержденіе волнообразной теоріи. Эти явленія тѣмъ замѣчательнѣе, что они были предсказаны на основаніи строгаго примѣненія идеи волнообразныхъ движеній свѣта и затѣмъ подтвердились опытомъ. Айри въ Кембриджѣ, посредствомъ теоретическихъ соображеній, наведенъ былъ на тотъ фактъ, что если Ньютоновы кольца производятся между стеклянной чечевицей и металлической пластинкой поляризованнымъ свѣтомъ, то центральный пунктъ изображенія надъ угломъ поля-

*) «Phil. Trans.» 1830.

**) Lloyd, «*Report on Optics*», 372 (Brit. Assoc.).



ризаціи долженъ быть чернымъ, между тѣмъ какъ ниже его онъ долженъ быть бѣлъ. Въ замѣткѣ *), въ которой онъ объявилъ объ этомъ, онъ говоритъ: «я предугадалъ это только на основаніи формулъ Френеля, что служитъ подтвержденіемъ ихъ и опровергаетъ теорію истеченія». Онъ также предсказалъ, что если эти кольца производятся между двумя веществами съ различной преломляющей силой, то упомянутый центръ изображенія, при увеличеніи угла поляризаціи, два раза долженъ перейти отъ бѣлаго цвѣта къ черному и наоборотъ. Это предуказаніе вполнѣ подтвердилось, когда за болѣе преломляющее тѣло взятъ былъ алмазъ **).

7. Коническое преломленіе. Подобнымъ же образомъ профессоръ Гамильтонъ въ Дублинѣ показалъ, что, согласно френелевскому ученію о двойномъ преломленіи, должно быть извѣстное положеніе кристалла, въ которомъ отдѣльный лучъ свѣта преломляется такимъ образомъ, что образуетъ форму коническаго пучка. Направленіе преломленнаго луча опредѣляется плоскостью, которая касается поверхности волны, и всегда слѣдуетъ тому правилу, что лучъ долженъ идти отъ центра поверхности волны къ точкѣ прикосновенія ея. И хотя вообще это прикосновеніе совершается только въ одной точкѣ, однако иногда, вслѣдствіе особенной кривизны поверхности волнъ, которая имѣетъ такъ-

---

*) Эта замѣтка была адресована мнѣ отъ 23 мая 1831 г. Однако я долженъ замѣтить, что этотъ отвѣтъ былъ сдѣланъ Араго 15 лѣтъ тому назадъ; и тогда же было напечатано извѣстіе объ немъ. Но Айри не зналъ этого.


**) «Cambr. Trans.» II, 409.



называемую геометрическую оконечность, можетъ случиться, при нѣкоторыхъ положеніяхъ, что плоскость можетъ коснуться поверхности волны по всей окружности круга. Въ этомъ случаѣ по правилу, опредѣляющему положеніе преломленнаго луча, этотъ лучъ отъ центра поверхности дойдетъ до всѣхъ пунктовъ периферіи этого круга и вслѣдствіе этого можетъ описать конусъ. Этотъ удивительный и неожиданный результатъ, полученный Гамильтономъ теоретическимъ путемъ, былъ подтвержденъ впослѣдствіи опытами его друга профессора Ллойда. Замѣтимъ еще, что послѣдній поляризовалъ этотъ коническій пучекъ и приэтомъ нашелъ, что онъ поляризованъ по совершенно необыкновенному закону, который однакоже вполнѣ согласенъ съ теоріею.

8. Цвѣтныя коймы вокругъ тѣней. Явленія коймъ вокругъ тѣней при весьма узкихъ отверстіяхъ, или цѣлыхъ группахъ ихъ, надъ которыми дѣлалъ наблюденія Фрауэнгоферъ, были впослѣдствіи тщательно изслѣдованы въ безчисленномъ множествѣ случаевъ профессоромъ Швердомъ въ Шпейерѣ и были изданы въ отдѣльномъ сочиненіи «Beugungs-Erscheinungen», «Явленія диффракціи» *). Въ этомъ трактатѣ авторъ съ большимъ усердіемъ и искусствомъ вычислилъ интегралы, которые, какъ мы видѣли, требуются для того, чтобы вывести послѣдствія изъ общей теоріи; и согласіе между его вычисленіями и различными блиста-

*) «Beugungs-ercheinungen, aus dem Fundamentalgesetz der Undulationstheorie analytisch entwickelt und in Bildern dargestellt». Von F. M. Schwerd. Mannheim 1835.

тельными опытами было совершенное. «Я, говоритъ онъ въ предисловіи, докажу въ настоящемъ трактатѣ, что всѣ явленія диффракціи, производимыя отверстіями какой угодно формы, величины и расположенія не только объясняются волнообразной теоріей, но могутъ быть выражены посредствомъ аналитическихъ уравненій опредѣляющихъ напряженность свѣта въ какой угодно точкѣ». И затѣмъ онъ справедливо замѣчаетъ, что волнообразная теорія объясняетъ явленія свѣта также полно, какъ теорія тяготѣнія объясняетъ факты солнечной системы.

9) Возраженія противъ волнообразной теоріи. Мы до сихъ поръ разсматривали только случаи, въ которыхъ эта теорія, или удачно объясняла факты, или же по крайней мѣрѣ гипотетически оказывалась сообразной съ ними и сама съ собою. Однако и противъ нея могутъ быть сдѣланы возраженія; и нѣкоторыя изъ нихъ долгое время считались очень трудными. Подобныя воззрѣнія были сдѣланы нѣкоторыми англійскими экспериментаторами, напр. Поттеромъ, Бартономъ и другими. Они явились въ ученыхъ журналахъ; тѣмъ же путемъ были обнародованы и отвѣты на нихъ. Эти возраженія относились частію къ измѣренію напряженности свѣта въ различныхъ точкахъ изображенія, которую весьма трудно опредѣлить точно посредствомъ опыта, частію же они вытекали изъ превратнаго пониманія теоріи, и я думаю, что въ настоящее время никто уже не настаиваетъ на этихъ возраженіяхъ.

Мы можемъ указать здѣсь также еще на одно возраженіе, которое не перестаютъ приводить противъ

волнообразной теоріи ея противники, несмотря на то, что фактъ, указываемый въ этомъ возраженіи, уже давно объясненъ удовлетворительно. Я разумѣю здѣсь ту полуволну, которая, по предположенію Юнга и Френеля, въ извѣстныхъ случаяхъ пріобрѣтается или теряется лучемъ свѣта. Хотя эти ученые и ихъ преемники не могли съ достаточною точностью представить механизмъ отраженія при всѣхъ его обстоятельствахъ, однако на основаніи принциповъ Френеля не трудно видѣть, что отраженіе отъ внѣшней поверхности стекла должно быть противоположно отраженію отъ внутренней, что̀ и можетъ быть выражено предположеніемъ, что одинъ изъ лучей потерялъ половину волны. И такимъ образомъ объясняется предположеніе, которое сначала сдѣлано было только на эмпирическомъ основаніи.

10. Разсѣяніе свѣта и волнообразная теорія. Есть трудность другаго рода, которая долгое время ставила въ серьезное затрудненіе послѣдователей этой теоріи. Казалось невозможнымъ объяснить по этой теоріи призматическое разсѣяніе цвѣтовъ. Ньютонъ показалъ, что величина преломленія различна для каждаго цвѣта, что эта величина зависитъ отъ скорости, съ которою распространяется свѣтъ. Между тѣмъ волнообразная теорія не представляетъ никакого основанія, почему можетъ быть различна скорость различныхъ цвѣтовъ; потому что на основаніи математическихъ вычисленій вибраціи всѣхъ степеней быстроты, отъ которой собственно и зависитъ разница цвѣтовъ, распространяются съ одинаковою скоростью. Въ природѣ нѣтъ аналогіи, которая объясняла бы намъ

съ точки зрѣнія волнообразной теоріи различную скорость различныхъ цвѣтовъ. Въ воздухѣ напр. нѣтъ различія между медленными или быстрыми волнами; и самые высокіе и самые низкіе звуки колоколовъ слышатся на всякомъ разстояніи по порядку ихъ происхожденія, а не по высотѣ, такъ что значитъ самый высокій тонъ распространяется нисколько не быстрѣе самаго низкаго. Въ этомъ состоялъ недостатокъ волнообразной теоріи.

Однако этотъ недостатокъ не опасенъ для нея. Потому что хотя теорія и не объяснила разсѣянія, однако не находится и въ противорѣчіи съ нимъ. Предположенія, на которыхъ основаны были вычисленія, и аналогія со звукомъ произвольны въ значительной степени. Скорость распространенія свѣта можетъ быть различна для различныхъ родовъ волнообразнаго движенія, вслѣдствіе многихъ причинъ, которыя однако не имѣютъ вліянія на общіе теоретическіе результаты.

Многія изъ такихъ гипотетическихъ причинъ были указаны различными знаменитыми математиками для устраненія этого серьезнаго затрудненія. Не входя въ разсмотрѣніе всѣхъ предложенныхъ догадокъ, мы укажемъ только на ту гипотезу, на которой сразу же сосредоточилось вниманіе математиковъ. Это—гипотеза безконечныхъ интерваловъ между частичками эѳира. Длина тѣхъ волнообразныхъ движеній, которыя производятъ свѣтъ, чрезвычайно мала; среднимъ числомъ она составляетъ $^1/_{50000}$ часть вершка. Но въ прежнихъ теоретическихъ выводахъ изъ теоріи предполагалось, что разстояніе между частичками эѳира, которыя своимъ

притяженіемъ и отталкиваніемъ производятъ волнообразное движеніе, безконечно меньше этой длины волнъ; такъ что это разстояніе пренебрегалось во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, въ которыхъ длина волны была количествомъ опредѣляющимъ результатъ. Но это предположеніе было совершенно произвольно и составлено было только для упрощенія дѣла и потому, что тогда воображали, что гораздо сообразнѣе съ истиной представлять эѳиръ сплошной жидкостью, чѣмъ воображать его состоящимъ изъ отдѣльныхъ изолированныхъ частичекъ. Поэтому математики могутъ съ равнымъ правомъ выходить изъ противоположнаго предположенія, что частички эѳира отдѣлены одна отъ другой безконечно-малыми разстояніями и принимать это предположеніе какъ основаніе для математическихъ вычисленій, или какъ физическую гипотезу. И затѣмъ оставалось только изслѣдовать, можетъ ли по этой гипотезѣ скорость свѣта быть одинаковой при различной длинѣ волны, т. е. для различныхъ цвѣтовъ. Коши вычислилъ на основаніи самыхъ общихъ принциповъ движеніе системы отдѣльныхъ частичекъ, составляющихъ эластическую среду, и получилъ результаты, которые заключаютъ въ себѣ новое видоизмѣненіе, или расширеніе прежней теоріи предположеніемъ разстоянія между частичками. Профессоръ Поуэллъ въ Оксфордѣ старался выразить въ числахъ эти результаты Коши и сравнить ихъ съ наблюденіями. И оказалось, на основаніи принциповъ Коши, что разница въ скорости свѣта можетъ происходить отъ разницы въ длинѣ волнъ, если предполагать, что разстояніе между частичками эѳира составляетъ замѣтную величину срав-

нительно съ длиной волнообразнаго движенія *). Профессоръ Поуэлль получилъ также изъ общихъ аналитическихъ выраженій формулу, выражающую отношеніе между показателемъ преломленія луча и длиной волны или цвѣтомъ луча **). Затѣмъ ему оставалось удостовѣриться, дѣйствительно ли это отношеніе существуетъ въ опытѣ; и онъ нашелъ весьма точное согласіе между числами, получаемыми изъ формулъ, и числами, полученными Фраунгоферомъ изъ наблюденій для разнаго рода средъ, именно для нѣсколькихъ сортовъ стекла и жидкостей †). Къ этимъ сравненіямъ онъ прибавилъ потомъ и еще десять другихъ случаевъ, которые Рудбергъ наблюдалъ въ кристаллахъ ††). Келлендъ въ Кембриджѣ вычислилъ нѣсколько различнымъ способомъ результаты той же гипотезы о безконечно малыхъ разстояніяхъ между частичками эѳира ♁); и получилъ формулы хотя и не вполнѣ сходныя съ формулами Поуэлля, однако нашелъ, что его результаты согласуются съ наблюденіями Фраунгофера.

Нужно замѣтить, что показатели преломленія, опредѣленные опытомъ и употреблявшіеся при указанныхъ вычисленіяхъ и сравненіяхъ, были не тѣ, которые соотвѣтствуютъ различнымъ призматическимъ цвѣтамъ и которые не могутъ быть измѣрены съ точностью; но тѣ, которые опредѣляются темными линіями, открытыми Фраунгоферомъ въ спектрѣ и названные имъ

---

*) «Phil. Mag.» VI, 266. **) Ibid. VII, 1835, 266. †) «Phil. Trans.» 1835, 249. ††) Ibid. 1836, VI, ♁) «Cambr. Trans.» VI, 153.



B, C, D, E, F, G, H и которые могутъ быть измѣряемы съ совершенной точностью. Согласіе между теоретическими формулами и числами, полученными изъ наблюденія, весьма замѣчательно во всемъ рядѣ сравненій, о которыхъ мы говорили. Однако мы не можемъ еще сказать рѣшительно, чтобы гипотеза о безконечно малыхъ разстояніяхъ вполнѣ подтверждалась этими вычисленіями; потому что хотя она и дала результаты, согласные съ опытомъ, однако еще не доказано, чтобы на основаніи другихъ какихъ-нибудь гипотезъ нельзя было получить результатовъ столь же согласныхъ съ опытомъ. По самой природѣ явленія слѣдуетъ, что должна быть извѣстная градація и непрерывность въ ряду цвѣтовъ спектра; и потому всякое предположеніе, которое въ состояніи объяснить общій фактъ всего разсѣянія, можетъ также объяснить и величину всѣхъ промежуточныхъ разсѣяній, потому что эти послѣднія должны занимать средину между двумя крайностями. Но во всякомъ случаѣ эти гипотетическія вычисленія достаточно показываютъ, что въ фактѣ разсѣянія нѣтъ ничего особенно страшнаго для волнообразной теоріи.

11. Заключеніе. Есть еще другіе болѣе глубокіе пункты этой теоріи; но они въ настоящее время еще мало разъяснены и разрѣшены для того, чтобы мы могли говорить исторически о тѣхъ изслѣдованіяхъ, къ которымъ они повели *); напримѣръ прежде предполагали, что вибраціи поляризованнаго свѣта перпен-

*) См. объ этомъ профессора Ллойда «*Report on Physical Optics*».



дикулярны къ плоскости поляризаціи. Но это предположеніе не составляетъ существенной части теоріи, и всѣ открытыя до сихъ поръ явленія даютъ намъ одинаковое право предполагать, что вибраціи совершаются въ самой плоскости поляризаціи. Существенное положеніе состоитъ въ томъ, что свѣтъ, поляризованный въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ между собой, имѣетъ и вибраціи, совершающіяся перпендикулярно одна къ другой. Этотъ пунктъ не былъ разрѣшенъ Юнгомъ и Френелемъ и недавно нѣкоторые математики пришли къ мысли, что эѳиръ совершаетъ свои вибраціи и въ самой плоскости поляризаціи. Теорія о поперечныхъ вибраціяхъ стоитъ одинаково твердо, какое бы изъ этихъ предположеній ни подтвердилось.

Тоже самое мы можемъ сказать и о тѣхъ предположеніяхъ, какія послѣ Юнга и Френеля составляли ихъ послѣдователи о механическихъ свойствахъ эѳира и о силахъ, которыми производятся поперечныя вибраціи. Очень естественно было, что возникали различныя трудности при изслѣдованіи этихъ пунктовъ; потому что поперечныя вибраціи не входили первоначально въ соображеніе при математическихъ вычисленіяхъ и силы, которыя производятъ эти вибраціи, должны дѣйствовать совершенно отлично отъ тѣхъ силъ, которыя первоначально имѣлись въ виду въ теоріи. Однако не входя въ подробныя разсужденія объ этомъ, мы можемъ сказать, что на основаніи всѣхъ сдѣланныхъ доселѣ математическихъ вычисленій можно утверждать, что въ представленіи поперечныхъ вибрацій нѣтъ ничего несообразнаго ни съ принципами

механики, ни съ самыми общими воззрѣніями, какія мы можемъ составить о силахъ, дѣйствующихъ во вселенной.

Я охотно скажу еще, такъ кратко, какъ этого требуетъ цѣль моего сочиненія, о тѣхъ пунктахъ волнообразной теоріи, которыя теперь только еще разрабатываются математиками. Относительно этихъ изслѣдованій требуется близкое знакомство съ математикой и физикой, чтобы понять тѣ шаги впередъ, которые день ото дня дѣлаются въ этомъ отдѣлѣ оптики; и нужно много высокихъ философскихъ качествъ, чтобы произнести сужденіе объ нихъ. Поэтому я заключу этотъ отдѣлъ исторіи оптики указаніемъ на тѣ высокія надежды, которыя подаетъ эта великая отрасль науки ея дѣятелямъ. Нужно глубокое размышленіе и большое математическое искусство для того, чтобы разработать эту теорію болѣе совершеннымъ образомъ и расширить границы нашего настоящаго знанія. И уже видно на горизонтѣ научнаго міра значительное число молодыхъ математиковъ, которые взялись за эти изслѣдованія съ нужнымъ талантомъ и усердіемъ и которые, познакомившись съ наукой уже послѣ того, когда вѣрность теоріи не подлежала сомнѣнію, имѣютъ поэтому въ своихъ основныхъ воззрѣніяхъ ту самостоятельность и рѣшительность, которую трудно было пріобрѣсти умамъ, принявшимъ теорію послѣ нерѣшительности, борьбы и колебаній, очень естественныхъ въ то время, когда теорія только еще устанавливалась. Естественно предположить, что въ рукахъ этого новаго поколѣнія аналитическая механика свѣта достигнетъ такого же совершенства, котораго достиг-

ла аналитическая механика солнечной системы въ рукахъ преемниковъ Ньютона. Мы уже указывали на нѣкоторыхъ ученыхъ изъ этого молодаго поколѣнія приверженцевъ ондуляціи. Во Франціи этими изслѣдованіями кромѣ Коши, Пуассона и Ампера занялся еще недавно Ламе *). Въ Бельгіи Кетле обратилъ особенное вниманіе на этотъ отдѣлъ оптики; и въ Англіи, за сэромъ Вильямомъ Гамильтономъ и профессоромъ Ллойдомъ въ Дублинѣ пошелъ по этому же пути Макъ-Куллохъ. Профессоръ Поуэллъ въ Оксфордѣ продолжалъ свои изслѣдованія съ неослабной ревностью; и профессоръ Айри въ Кембриджѣ, который, до своего вступленія въ должность королевскаго астронома въ Гринвичѣ, много содѣйствовалъ установленію и распространенію волнообразной теоріи, имѣлъ удовольствіе видѣть, что его труды продолжаются другими до самаго послѣдняго времени. Келлендъ **), о которомъ мы уже упоминали, и Арчибальдъ Смитъ †), которые въ 1834 и 1836 гг. удостоились высшаго математическаго почета, какой можетъ оказать университетъ, издали нѣсколько изслѣдованій о волнообразной теоріи.

Мы прибавимъ здѣсь еще замѣчаніе, вызванное въ

*) Lloyd, «*Report*» 392.

**) «On the Dispersion of Light, as explained by the Hypothesis of Finite Intervals». Cambr. Trans. vol. VI, p. 153.

†) «Investigation of the Equation to Fresnel's Wave Surface», ib. p. 85. См. также въ томъ же томѣ «Mathematical Considerations on the Problem of the Rainbow», относящіяся къ физической оптикѣ и принадлежащія Поттеру, члену Коллегіи Королевы (Queen's College).

насъ этими фактами, что дѣлу прогресса науки весьма много содѣйствовало существованіе цѣлой корпораціи людей, посвятившихъ себя изученію высшей математики, какія корпораціи существуютъ напр. въ британскихъ университетахъ, приготовляющихъ такимъ образомъ людей, которые при появленіи какой-нибудь отвлеченной и высокой теоріи, имѣющей всѣ признаки истины, могутъ оцѣнить ея достовѣрность, твердо установить ея принципы, подвергнуть ее математическому анализу и такимъ образомъ сдѣлать ее частью постоянныхъ сокровищъ и наслѣдства цивилизованнаго міра, безъ чего эти открытія могли бы умереть вмѣстѣ съ геніями, сдѣлавшими ихъ, и могли бы оставаться потомъ неизвѣстными цѣлые вѣка, какъ это и бывало иногда прежде съ великими научными открытіями.

Читатель, знакомый съ исторіею новыхъ оптическихъ открытій, замѣтитъ, что мы опустили въ нашей исторіи многое, что возбудило къ себѣ справедливое удивленіе, какъ напр. явленія, производимыя стекломъ подъ вліяніемъ сильнаго жара или давленія и замѣченныя Лобекомъ, Біо и Брьюстеромъ, и многія весьма любопытныя свойства нѣкоторыхъ минераловъ. Мы опустили также явленія и законы поглощенія свѣта, которые до сихъ поръ не приведены въ связь съ теоріей. Но этимъ мы нисколько не отклонились отъ нашей цѣли, которая состояла въ томъ, чтобы изобразить прогрессъ оптики какъ теоріи; и это мы уже сдѣлали, насколько позволяли намъ наши силы.

Мы старались показать, что типъ этого прогресса въ исторіи двухъ великихъ наукъ, Физической Астрономіи и Физической Оптики, одинаковъ. Въ обѣихъ мы

находимъ Законы Явленій, открытые и собранные проницательными и изобрѣтательными людьми; далѣе Предварительныя догадки, которыя близко подходилиь вѣрной теоріи, но долгое время оставались несовершенными, неразвитыми и неподтвержденными; наконецъ видимъ Эпохи, когда эта вѣрная теорія, ясно понятая великими и геніальными естествоиспытателями, подтверждалась и доказывалась тѣмъ, что она вполнѣ объясняла то, для чего она была придумана и даже то, что первоначально не предполагалось объяснять ею. Мы видимъ затѣмъ, какъ теорія распространяется и борется съ враждебными ей предразсудками и разными трудностями, и какъ наконецъ торжествуетъ надъ всѣмъ этимъ и торжественно идетъ впередъ и къ ней на этомъ шествіи пристаютъ юные и болѣе сильные дѣятели науки.

Было бы можетъ быть нѣсколько фантастично попытаться провести параллель между великими личностями, которыя выступаютъ въ исторіи этихъ двухъ наукъ. Еслибы намъ пришлось это дѣлать, то мы поставили бы въ оптикѣ Гюйгенса и Гука на то мѣсто, какое занимаетъ въ астрономіи Коперникъ, потому что, подобно ему, они провозгласили вѣрную теорію, но предоставили будущимъ поколѣніямъ развивать ее и доказывать механическими принципами; Малюсъ и Брьюстеръ соотвѣтствуютъ Тихо де-Браге и Кеплеру, такъ какъ всѣ они были одинаково ревностны въ собираніи наблюденій, изобрѣтательны и счастливы въ открытіи законовъ явленій; наконецъ Юнгъ и Френель вмѣстѣ взятые представляютъ собою Ньютона оптической науки.



(2-е изд.) [Въ «Report on Physical Optics» («Brit. Ass. Reports» 1834) профессора Ллойда изображенъ прогрессъ математической теоріи свѣта послѣ трудовъ Френеля болѣе подробно, чѣмъ это я сдѣлалъ; и въ немъ заключаются еще слѣдующіе факты. Амперъ въ 1828 г. доказалъ прямо математическіе результаты Френеля, которые самъ Френель доказалъ только не прямо, и изъ своего доказательства вывелъ прекрасныя геометрическія построенія Френеля. Профессоръ Макъ-Куллохъ вскорѣ послѣ того представилъ точное доказательство той же теоремы и другихъ основныхъ пунктовъ теоріи Френеля. Онъ изображаетъ эластическую силу посредствомъ эллипсоида, оси котораго обратно пропорціональны осямъ Френелевскаго производнаго эллипсоида, и изъ этого геометрически выводитъ теорему Френеля. Въ третьемъ дополненіи къ «Essay on the Theory of Systems of Rays» («Trans. R. S. Acad.» vol. XVII) сэръ Гамильтонъ представилъ въ очень изящной аналитической формѣ ту часть теоріи Френеля, которая относится къ основной проблемѣ опредѣленія скорости и поляризаціи продольной волны. Это онъ сдѣлалъ посредствомъ такъ названной характеристической функціи оптической системы, къ которой относится проблема. Изъ этой функціи онъ вывелъ «поверхность замедленія волны» въ извѣстной средѣ и посредствомъ этой поверхности опредѣлилъ направленіе лучей, преломленныхъ въ извѣстной средѣ. На основаніи этого построенія Гамильтонъ предсказалъ коническую рефракцію, о которой говорилось выше.

Изслѣдованія Коши и Ламе относятся къ законамъ, по которымъ частички эѳира дѣйствуютъ одна на дру-

гую и на частички другихъ тѣлъ; — поле изслѣдованій, которое, кажется мнѣ, еще не созрѣло для окончательныхъ аналитическихъ операцій.

Между математиками, которые пополнили пробѣлы въ изслѣдованіяхъ Френеля о теоріи свѣта, я могу упомянуть Товея, который разбиралъ ее во многихъ трактатахъ, помѣщенныхъ въ «Philosophical Magazin» (1837—1840). Ранняя смерть Товея должна считаться большой потерей для математической науки.

Кромѣ изслѣдованій о движеніи симметрическихъ системъ частичекъ, которыя по предположенію могутъ соотвѣтствовать двуоснымъ кристалламъ, Товей занимался еще изслѣдованіемъ движенія несимметрическихъ системъ и нашелъ, что волнообразныя движенія распространяющіяся по нимъ должны вообще быть эллиптическими, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ эти волнообразныя движенія бываютъ круговыя, какъ напр. тогда, когда они распространяются по длинѣ осей кварца. Мнѣ кажется, что онъ не опредѣлилъ вполнѣ тѣхъ видоизмѣненій его общей гипотезы, которыя привели его къ этому результату. Еслибы разобрать подробно гипотетическія основанія и условія этого результата, то можетъ быть оказалось бы, что они заключаются въ винтообразномъ расположеніи элементарныхъ частичекъ эѳира, подобномъ тому, какое представляютъ въ своей формѣ кристаллы кварца, когда они имѣютъ на обоихъ концахъ трапецеобразныя пластинки.

Такіе кристаллы кварца по расположенію этихъ пластинокъ иногда походятъ на винтъ, наклоненный направо, а иногда — налѣво, и, какъ замѣтилъ сэръ

Джонъ Гершель, круговая поляризація въ нихъ сообразно этому расположенію пластинокъ уклоняется то направо, то налѣво. Въ гипотетическихъ изслѣдованіяхъ Товея не видно, отъ какой части гипотезы зависитъ эта разница уклоненія вправо, или влѣво; а между тѣмъ опредѣленіе этого было бы весьма желательно.

Когда пластинки кристалловъ кварца на одномъ концѣ его расположены направо, то онѣ расположены направо же и на другомъ концѣ. Но есть кристаллы, въ которыхъ расположеніе трапецеобразныхъ пластинокъ не одинаково, напр. въ апатитѣ, въ которомъ на одномъ концѣ пластинки расположены вправо, а на другомъ влѣво. Основываясь на этомъ различномъ расположеніи, мы перваго рода пластинки можемъ назвать гомологическими, потому что онѣ на обоихъ концахъ одинаковы, а втораго рода—гетерологическими, потому что онѣ на одномъ концѣ расположены иначе, чѣмъ на другомъ.

Гомологическія трапецеобразныя пластинки кристаллическаго кварца даютъ и гомологическую круговую поляризацію въ одинаковую сторону. Я не знаю, была ли наблюдаема въ какихъ-нибудь кристаллахъ гетерологическая круговая поляризація; но Фарадэй открылъ, что она существуетъ въ стеклѣ, когда оно подвержено сильному магнетическому дѣйствію.

Можетъ быть съ моей стороны было непозволительной претензіей дѣлать сравненія и сопоставленія между учеными и особенно между находящимися еще въ живыхъ, какъ это я сдѣлалъ на предъидущихъ страницахъ этой книги. Но я однако не считалъ нуж-

нымъ выбросить его и теперь. Я могу только замѣтить, что громадное количество и разнообразіе прекрасныхъ оптическихъ открытій, которыми мы обязаны сэру Давиду Брьюстеру, вполнѣ подтверждаетъ сдѣланное нами сравненіе его съ Кеплеромъ; даже это сравненіе не вполнѣ выражаетъ его научные тріумфы надъ природой. Кромѣ почетнаго мѣста, какое онъ занимаетъ въ исторіи теоріи оптики, онъ долженъ занять еще высокое положеніе въ исторіи оптической кристаллографіи, какова бы ни была вѣрная оптическая теорія кристалловъ, имѣющая явиться въ Эпоху, къ которой труды его въ этой области служатъ такимъ богатымъ Приготовленіемъ. Я вполнѣ соглашаюсь съ выраженіемъ употребленнымъ Айри въ «Phil. Trans.» 1840 г., гдѣ онъ говоритъ о сэрѣ Давидѣ Брьюстерѣ, какъ «объ отцѣ новой экспериментальной оптики».]

(ПРИЛОЖЕНІЕ КЪ ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНІЮ).

Направленіе поперечныхъ вибрацій въ поляризаціи.—Въ заключеніи XIII главы я указалъ, что въ волнообразной теоріи есть пунктъ, который не разрѣшенъ былъ Юнгомъ и Френелемъ и о которомъ существуютъ два различныя мнѣнія у математиковъ; именно, совершаются ли вибраціи поляризованнаго свѣта перпендикулярно къ плоскости поляризаціи, или же въ самой этой плоскости. Профессоръ Стоксъ вь Кембриджѣ пытался разрѣшить этотъ вопросъ способомъ,

который теоретически чрезвычайно остроуменъ, хотя и трудно произвести въ подтвержденіе его нужные опыты. Вотъ краткое описаніе его способа.

Если поляризованный свѣтъ подвергнуть диффракціи, или уклоненію (см. гл. XI, § 2), то каждый лучъ уклоняется отъ своего положенія, оставаясь всетаки поляризованнымъ. Первоначальный лучъ и лучъ, подвергшійся диффракціи или уклоненный, образуютъ такимъ образомъ ломаную линію; и можно предположить, что они связаны общимъ шарниромъ (такъ называемымъ шарниромъ Гука), такъ, что когда первоначальный лучъ поворачивается около своей оси—и уклоненные лучи также поворачиваются около своихъ осей, какъ это бываетъ напр. съ длинной рукояткой въ телескопѣ и винтомъ, который она поворачиваетъ. Если движеніе первоначальнаго луча вокругъ его оси будетъ равномѣрно, то движеніе уклоненнаго луча вокругъ его оси будетъ не равномѣрно. И потому, если въ нѣсколькихъ послѣдовательныхъ случаяхъ, послѣдующая плоскость поляризаціи первоначальнаго луча будетъ отличаться отъ предъидущей равнымъ угломъ то въ уклоненномъ лучѣ плоскости поляризаціи будутъ отличаться одна отъ другой неравными углами. Теперь, если вибраціи свѣта перпендикулярны къ плоскости поляризаціи, тогда плоскости поляризаціи уклоненныхъ лучей будутъ скопляться вмѣстѣ въ сосѣдствѣ съ тою плоскостью, въ которой происходитъ диффракція, и весьма рѣдко будутъ попадать въ сосѣдство съ плоскостью перпендикулярной къ ней, въ которой помѣщается диффрактирующая или уклоняющая нитка, волосокъ, или отверстіе.

Производя эти опыты профессоръ Стоксъ увѣрялъ, будто онъ нашелъ, что дѣйствительно плоскости поляризаціи диффрактированныхъ лучей скопляются въ плоскости диффракціи; и это онъ считалъ подтвержденіемъ той гипотезы, что поперечныя вибраціи, составляющія поляризаціи, перпендикулярны къ плоскости поляризаціи *).

Но Гольцманъ **), который соглашался съ этими соображеніями и производилъ подобные опыты нѣсколько инымъ способомъ, пришелъ къ противоположному результату; такъ что этотъ пунктъ и теперь долженъ считаться сомнительнымъ.

Окончательное пораженіе теоріи истеченія.— Какъ я уже сказалъ, на Теорію Истеченія Свѣта нельзя даже смотрѣть собственно какъ на теорію, которая боролась съ Волнообразной Теоріей; потому что въ то время,—какъ волнообразная теорія давала объясненіе каждаго новаго класса явленій, какъ только онъ былъ открываемъ и въ этихъ объясненіяхъ обнаруживала согласіе между своими предположеніями, гипотеза истеченій для каждаго новаго явленія или факта нуждалась въ новыхъ гипотезахъ или искусственныхъ построеніяхъ, не въ состояніи была даже выразить на своемъ языкѣ новыхъ фактовъ. Простыя случаи обыкновеннаго преломленія и отраженія свѣта были объяснены Ньютономъ посредствомъ предположенія, что распространеніе свѣта есть движеніе свѣтя-

*) «Camb. Trans.» vol. IX, part. 1. 1849.
**) «Phil. Mag.» Febr. 1857.

щихся частичекъ; и хотя это объясненіе заключало въ себѣ очень произвольное и грубое предположеніе (что преломляющая поверхность обнаруживаетъ притягательную силу на опредѣленно малыхъ разстояніяхъ), однако авторитетъ этого великаго имени далъ ему извѣстность и достовѣрность, и на него главнымъ образомъ обращали вниманіе, когда сравнивали мнимую теорію истеченій съ дѣйствительною волнообразной теоріей. Пунктъ, который служитъ повѣркою обѣихъ теорій, въ этомъ случаѣ былъ очевиденъ: по Ньютоновской теоріи скорость свѣта увеличивается преломляющей средой, а по волнообразной теоріи уменьшается ею. По первой гипотезѣ скорость свѣта въ воздухѣ и водѣ относится какъ 3 къ 4, а по второй какъ 4 къ 3.

Громадная скорость свѣта дѣлала повидимому невозможнымъ измѣреніе ея въ границахъ такого небольшаго пространства, какое мы можемъ наполнить преломляющей средой. Скорость свѣта опредѣлена была на основаніи астрономическихъ наблюденій, именно на основаніи затмѣній спутниковъ Юпитера; оказалось, что свѣтъ проходитъ пространство отъ солнца до земли въ 8 минутъ. Скорость свѣта также опредѣлена была и на основаніи аберраціи свѣта, которая показала, что скорость свѣта въ 10,000 разъ больше скорости движенія земли по орбитѣ. Возможно ли было послѣ этого замѣтить ту разницу въ скорости, съ какой свѣтъ проходитъ нѣсколько футовъ въ воздухѣ и водѣ?

Уитсонъ въ 1831 г. изобрѣлъ машину, посредствомъ которой дѣлалось возможнымъ замѣтить эту

разницу. Онъ имѣлъ въ виду опредѣлить скорость электрической искры. Его аппаратъ состоитъ изъ небольшаго зеркала, вращающагося съ большой скоростью на оси, которая находится въ его собственной плоскости. Скорость вращенія зеркала можетъ быть такъ велика, что предметъ, отразившійся отъ него, перемѣнитъ замѣтно свое мѣсто послѣ невообразимо малой части секунды. Примѣненіе этого прибора къ измѣренію скорости свѣта сдѣлано было по мысли Араго, который видѣлъ борьбу между враждебными теоріями свѣта, и приведено въ дѣйствіе молодыми учеными въ Парижѣ, такъ какъ ему самому зрѣніе не позволяло заняться этимъ дѣломъ. Зеркало должно было вращаться со скоростью болѣе 1000 разъ въ секунду для того, чтобы два изображенія, произведенныя на немъ—одно свѣтомъ, идущимъ черезъ воздухъ, а другое свѣтомъ, идущимъ черезъ равное пространство воды—занимали два мѣста замѣтно различныя. Механическія трудности этого опыта состояли въ томъ, чтобы придать механизму такую большую скорость не испортивъ его и чтобы пропускать свѣтъ не ослабивъ его. Эти трудности были побѣждены въ 1850 г. Физо и Леономъ Фуко, каждымъ отдѣльно; и въ результатѣ оказалось, что скорость свѣта въ водѣ меньше, чѣмъ въ воздухѣ. И такимъ образомъ Ньютоновское объясненіе преломленія, послѣдняя опора теоріи истеченія, оказалось ложнымъ.

КНИГА X.

ВТОРИЧНЫЯ

МЕХАНИЧЕСКІЯ НАУКИ.

(ПРОДОЛЖЕНІЕ).

ИСТОРІЯ

ТЕРМОТИКИ И АТМОЛОГІИ.

Et primum faciunt ignem se vortere in auras
Aëris; hinc imbrem gigni terramque creari
Ex imbri; retroque a terrâ cuncta revorti,
Humorem primum, post aëra deinde calorem;
Nec cessare hæc inter se mutare, meare,
De cœlo ad terram de terrâ ad sidera mundi.

LUCRETIUS, i. 873.

ВВЕДЕНІЕ.

О Термотикѣ и Атмологіи.

ПОДЪ именемъ Термотики я разумѣю всѣ тѣ познанія о теплотѣ, которыя до сихъ поръ утверждены на отдѣльныхъ научныхъ основаніяхъ. Наше обозрѣніе исторіи этой отрасли науки будетъ болѣе бѣгло и менѣе подробно, чѣмъ это было относительно тѣхъ предметовъ, которыми мы до сихъ поръ занимались; потому что наши знанія о предметахъ Термотики болѣе неопредѣленны и не такъ прочны, какъ о предметахъ другихъ наукъ, и идутъ медленнымъ шагомъ къ общей и вѣрной теоріи. Не смотря на это, исторія Термотики слишкомъ важна и слишкомъ поучительна для того, чтобы совершенно оставить ее безъ вниманія.

И Термотику, также какъ другія науки, можно раздѣлить на Формальную Термотику, занимающуюся открытіемъ только законовъ явленій, и Физическую Термотику, занимающуюся изслѣдованіемъ причинъ ихъ. Но мы не можемъ провести строго этого дѣленія въ

Термотикѣ; потому что до сихъ поръ не было предложено ни одной общей теоріи, которая бы давала намъ средства вычислить условія и обстоятельства явленій проводимости, лучеиспусканія, расширенія и перемѣнъ въ твердой, жидкой и воздухообразной формѣ тѣлъ. Однако для объясненія отдѣльно каждаго изъ этихъ явленій были предложены и приняты нѣкоторые общіе взгляды, изъ которыхъ каждый объясняетъ свойственный ему классъ явленій; и въ нѣкоторыхъ случаяхъ эти общіе взгляды были представлены въ точной и математической формѣ и такимъ образомъ стали основаніями для математическихъ вычисленій. Эти взгляды или принципы, хотя и имѣютъ нѣкоторую степень общности и соединяютъ между собой опытные законы многихъ явленій, однако до сихъ поръ они не могли соединить всѣхъ опытныхъ фактовъ и наблюденій, относящихся къ теплотѣ. И потому каждый изъ этихъ принциповъ долженъ быть разсматриваемъ нами отдѣльно. Такимъ образомъ эти принципы могутъ быть представлены подъ видомъ ученія о Проводимости, ученія о Лучеиспусканіи, ученія о Специфической Теплотѣ и ученія о Скрытой Теплотѣ. Эти и подобныя имъ ученія о разныхъ сторонахъ теплоты и составляютъ науку, которую мы называемъ собственно Термотикой.

Но кро́мѣ этой коллекціи принциповъ, относящихся къ самой теплотѣ, есть еще другая обширная и важная коллекція законовъ и принциповъ, выражающихъ отношенія между теплотой и влажностью. Ихъ я буду разсматривать въ связи съ Термотикой и называю Атмологіей, заимствуя этотъ терминъ отъ греческаго

слова (ἄτμος), которое значитъ паръ. Греки называли воздухъ, окружающій землю, атмосферой, такъ какъ будто онъ есть сфера изъ водяныхъ паровъ; и въ самомъ дѣлѣ самыя общія и важныя явленія, происходящія въ воздухѣ, окружающемъ землю, суть тѣ, въ которыхъ участвуетъ вода въ одной изъ своихъ формъ, твердой, жидкой или парообразной. Наука, занимающаяся тѣмъ, что происходитъ въ атмосферѣ, называется въ коллективной формѣ Метеорологіей; но эта наука на самомъ дѣлѣ слагается изъ отдѣльныхъ частей, заимствованныхъ изъ многихъ наукъ. Для нашей цѣли выгодно разсматривать отдѣльно тѣ части метеорологіи, которыя имѣютъ связь съ водяными парами и которыя мы обозначаемъ терминомъ «Атмологія».

Инструменты, изобрѣтенные для измѣренія влажности воздуха, т. е. количества находящихся въ немъ паровъ, названы были гигрометрами, и потому ученія, на которыхъ основывались эти инструменты и которымъ они помогали, назывались Гигрометріей. Но этотъ терминъ не имѣлъ того широкаго значенія, какое мы придаемъ слову Атмологія.

Излагая исторію Термотики, мы должны прежде всего описать ранній прогрессъ человѣческихъ знаній о проводимости, лучеиспусканіи и другихъ явленіяхъ и затѣмъ говорить о новѣйшихъ исправленіяхъ и дополненіяхъ, посредствомъ которыхъ эти знанія приведены ближе къ теоретической общности.

СОБСТВЕННО ТЕРМОТИКА.

ГЛАВА I.

Ученія о Прѣводимости и Лучеиспусканіи Теплоты.

§ 1. Введеніе къ ученію о Теплопроводимости.

ПОДЪ именемъ Теплопроводимости разумѣется распространеніе теплоты отъ одной части отдѣльнаго тѣла къ другой, или отъ одного тѣла къ другому, находящемуся съ нимъ въ соприкосновеніи; какъ напр. когда одинъ конецъ желѣзной палки находится въ огнѣ, то теплота распространяется и на другой, или когда этотъ другой конецъ нагрѣваетъ руку, которая его держитъ. Подъ именемъ Лучеиспусканія разумѣется распространеніе теплоты отъ поверхности тѣла къ тѣмъ точкамъ, какія не находятся въ соприкосновеніи съ нимъ. Въ обоихъ этихъ случаяхъ очевидно, что чѣмъ теплѣе нагрѣтая часть тѣла, тѣмъ большій эффектъ, т. е. тѣмъ большее нагрѣваніе она производитъ въ

холодной части, т. е. тѣмъ больше сообщаетъ ей теплоты, если подъ теплотою разумѣть особый элементъ, выраженіемъ котораго служитъ этотъ эффектъ, т. е. это нагрѣваніе. Самое простѣйшее правило, которое можно предложить для проводимости, состоитъ въ томъ, что сообщаемая такимъ образомъ теплота въ извѣстное данное мгновеніе пропорціональна излишку теплоты нагрѣтаго тѣла надъ теплотою сообщающихся съ нимъ тѣлъ. Не было ни одного очевиднаго явленія, которое противорѣчило бы предположенію, что это правило вѣрно; и потому Ньютонъ считалъ его вѣрнымъ закономъ лучеиспусканія теплоты, а другіе ученые—и теплопроводимости. Это положеніе было подтверждено сначала приблизительно, а потомъ и точно для явленій лучеиспусканія; въ примѣненіи же къ теплопроводимости оно служило основаніемъ всѣхъ вычисленій объ ней даже до настоящаго времени. Мы можемъ замѣтить при этомъ, что это положеніе предполагаетъ существованіе мѣры теплоты (или температуры, какъ называется измѣренная теплота), соотвѣтствующей этому предполагаемому закону. И въ самомъ дѣлѣ, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, когда будемъ говорить объ измѣреніи ощущаемыхъ качествъ, была устроена термометрическая скала теплоты, въ которой теплота измѣрялась расширеніемъ жидкости, и устроена именно на основаніи Ньютоновскаго закона лучеиспусканія теплоты; такъ что этотъ законъ стоитъ въ необходимой связи съ этой скалой.

Во всѣхъ случаяхъ, когда части тѣла нагрѣты неодинаково, температура его постепенно измѣняется по направленію отъ одной части къ другой. Такимъ обра-

зомъ наприм. длинный желѣзный прутъ, нагрѣтый на одномъ концѣ до краснаго каленія, обнаруживаетъ постепенное уменьшеніе температуры въ послѣдовательныхъ точкахъ по направленію къ другому концу. Законъ температуры частей такого прута можетъ быть выраженъ ординатами кривой, которая идетъ по длинѣ прута. И для того, чтобы вычислить математически послѣдствія предположеннаго закона, требовалось знаніе тѣхъ математическихъ процессовъ, посредствомъ которыхъ математики могли опредѣлять свойства кривыхъ, напр. методъ безконечныхъ величинъ, или дифференціальнаго исчисленія. Вѣрность же или ложность предполагаемаго закона могла быть опредѣлена по обыкновеннымъ правиламъ индуктивныхъ наукъ, т. е. посредствомъ сравненія результатовъ, теоретически выведенныхъ изъ принципа, съ опытными наблюденіями.

Легко было видѣть, что физика прежде всего должна была заняться этимъ сравненіемъ. Но это сравненіе замедлилось на нѣкоторое время, отчасти можетъ быть потому, что математическіе процессы представляли тогда еще нѣкоторыя трудности. Даже въ самомъ простомъ случаѣ, упомянутомъ выше, когда нужно было опредѣлить распространеніе теплоты по длинному желѣзному пруту, имѣвшему на одномъ концѣ постоянную температуру, уже требовалось приложеніе такъ-называемыхъ частичныхъ дифференціаловъ; потому что здѣсь нужно было принимать во вниманіе три перемѣнныя величины, именно время, мѣсто каждой точки и ея температуру. Кромѣ того встрѣтилась еще другая трудность, когда Біо около 1804 г. взялся за эту

проблему *). «Здѣсь,» говоритъ Лапласъ въ 1809 г. **), «сама собою представляется трудность, еще до сихъ поръ неразрѣшенная. Количества получаемой и сообщаемой теплоты въ каждое мгновеніе какою-нибудь частицею прута, должны быть безконечно малыми количествами того же порядка, какъ излишекъ теплоты одного слоя тѣла надъ теплотой сосѣдняго слоя; такимъ образомъ излишекъ теплоты, получаемой какимъ-нибудь слоемъ, надъ теплотою, сообщаемою имъ, есть безконечно малая величина втораго порядка; и накопленіе ихъ въ извѣстное данное время не можетъ составить конечной величины». Мнѣ кажется, что эта трудность происходила только отъ произвольнаго и не необходимаго предположенія объ отношеніяхъ между безконечно малыми частичками тѣлъ. Лапласъ старался разрѣшить эту трудность дальнѣйшими соображеніями, основанными на томъ же самомъ предположеніи, изъ котораго она вытекала. Но Фурье, который долженъ считаться однимъ изъ первыхъ дѣятелей по развитію математическаго ученія о теплопроводимости, шелъ въ своихъ изслѣдованіяхъ совершенно другимъ путемъ, на которомъ не представлялось этой трудности. И самъ Лапласъ, въ мемуарѣ, цитированномъ выше, сознается, что Фурье, на основаніи своихъ собственныхъ соображеній, получилъ вѣрныя основныя уравненія †).

Дальнѣйшая часть исторіи ученія о теплопроводимости есть главнымъ образомъ исторія работъ Фурье.

*) Біо, «*Traité de Physique*», IV, 669.
**) Лапласъ, «*Mem. Inst.*» 1809, 332.
†) Лапласъ, ibid. 538.

Когда на этотъ предметъ обращено было вниманіе ученаго міра, Французскій Институтъ въ январѣ 1810 г. предложилъ на премію задачу: «представить математическую теорію законовъ распространенія теплоты и сравнить ее съ точными наблюденіями». Мемуаръ Фурье, составлявшій продолженіе его мемуара, составленнаго въ 1807 г., былъ представленъ Французскому Институту въ 1811 г.; и въ 1813 г. ему была присуждена премія (3,000 франковъ). Но вслѣдствіе ли политическихъ волненій, обуревавшихъ тогда Францію, или вслѣдствіе другихъ какихъ-либо причинъ, эти важные мемуары были напечатаны академіей только въ 1824 г.; но извлеченія изъ нихъ появились въ «Bulletin des Sciences» въ 1808 и въ «Annales de Chimie» въ 1816 г.; а Пуассонъ и Коши изучали ихъ еще въ рукописи.

Я не имѣю намѣренія описывать здѣсь аналитическіе процессы, посредствомъ которыхъ Фурье получилъ свои результаты *). Искусство, обнаруженное авторомъ въ этихъ мемуарахъ, такъ велико, что справедливо возбудило къ себѣ удивленіе математиковъ. Впрочемъ эти мемуары главнымъ образомъ состоятъ въ выводахъ изъ основнаго принципа, на который я уже указалъ, — что количество теплоты, проводимой отъ нагрѣтаго пункта къ холодному, пропорціонально излишку теплоты этихъ пунктовъ и измѣняется проводимостью или проводящею способностью каждаго тѣла. Уравненія, вытекающія изъ этого принципа,

*) Я напечаталъ отчетъ о математическихъ результатахъ Фурье въ «Reports of the British Association for 1835».



имѣютъ почти такой же видъ, какъ уравненія, составленныя для болѣе общихъ проблемъ гидродинамики. Кромѣ рѣшенія Фурье, еще Лапласъ, Пуассонъ и Коши пробовали свое великое математическое искусство на разработываніи и развитіи этихъ формулъ. Затѣмъ мы должны кратко упомянуть о сличеніи результатовъ этихъ вычисленій съ опытомъ и указать на нѣкоторыя другія послѣдствія, къ которымъ они повели. Но прежде чѣмъ сдѣлать это мы должны сначала обратить вниманіе на лучеиспусканіе теплоты.

§ 2. Введеніе къ ученію о Лучеиспусканіи.

Всякое нагрѣтое тѣло, напр. масса раскаленнаго желѣза, испускаетъ изъ себя теплоту, что̀ мы можемъ замѣтить уже по ощущенію, когда приблизимся къ нему; и вслѣдствіе этого испусканія теплоты нагрѣтое тѣло само охлаждается. Первый шагъ къ систематизаціи нашихъ знаній объ этомъ предметѣ сдѣланъ былъ въ «Principia». «Этому великому сочиненію,» говоритъ Фурье, «предназначено было разъяснить—или по крайней мѣрѣ указать причины всѣхъ главнѣйшихъ явленій во вселенной». Ньютонъ предполагалъ, какъ мы уже сказали, что охлажденіе тѣла, т. е. передача части его теплоты окружающимъ тѣламъ, пропорціонально его собственной теплотѣ; и на этомъ предположеніи онъ основалъ повѣрку его скалы температуръ. Легко было вывести изъ этого закона, что если времена охлажденія увеличиваются въ ариѳметической прогрессіи, то теплота должна уменьшаться въ геометрической прогрессіи. Крафтъ, а послѣ него Рихманъ старались повѣрить этотъ законъ прямыми опытами

надъ охлажденіемъ сосудовъ съ теплой водой; и изъ этихъ опытовъ, повторенныхъ потомъ и другими, слѣдовало, что при разностяхъ въ температурѣ, не превышающихъ 50 градусовъ по стоградусному термометру, процессъ охлажденія слѣдуетъ приблизительно, но не вполнѣ точно упомянутой геометрической прогрессіи.

Принципъ лучеиспусканія, подобно теплопроводимости, долженъ былъ быть разработанъ математическимъ путемъ. Но прежде всего нужно было исправить этотъ принципъ; такъ какъ легко было замѣтить, что пропорція охлажденія зависѣла не отъ абсолютной температуры тѣла, но отъ излишка его температуры надъ окружающими предметами, которымъ оно при своемъ охлажденіи сообщаетъ свою теплоту. И естествоиспытатели естественно пришли къ мысли объяснить или по крайней мѣрѣ представить наглядно процессъ охлажденія указаніемъ на другіе физическіе процессы. Ламбертъ въ 1755 г. напечаталъ *) «Опытъ о Силѣ Теплоты», въ которомъ сообщеніе теплоты онъ сравниваетъ съ вытеканіемъ жидкости изъ одного сосуда въ другой вслѣдствіе излишка давленія, и на этомъ основаніи выводитъ математическіе законы этого процесса. Но нѣкоторые, открытые наблюденіемъ, дополнительные факты повели къ различнымъ воззрѣніямъ на этотъ предметъ. Было найдено, что теплота при лучеиспусканіи распространяется по прямымъ линіямъ подобно свѣту и что подобно ему же можетъ отражаться отъ зеркальныхъ поверхностей, и такимъ об-

---

*) «Act. Helvet.» t. II, p. 172.

разомъ можетъ быть сосредоточена въ фокусѣ и обнаруживать здѣсь усиленное дѣйствіе. Этимъ способомъ лучеиспускающее дѣйствіе нагрѣтаго тѣла могло быть объяснено болѣе точнымъ образомъ. Кромѣ того открытъ былъ еще новый фактъ, который съ перваго раза казалось представлялъ еще новыя трудности. Оказалось, что и холодъ можетъ отражаться точно такъ же какъ и теплота. Когда масса льда дѣйствовала на термометръ сосредоточеннымъ образомъ, посредствомъ системы зеркалъ, то термометръ понижался точно такъ же, какъ сосудъ съ горячею водою, поставленный въ такія же условія, заставлялъ термометръ подниматься. Въ такомъ случаѣ не слѣдуетъ ли предполагать, что холодъ есть такая же реальная субстанція, какъ и теплота?

Рѣшеніе этого и другихъ подобныхъ вопросовъ представилъ Пьеръ Прево, профессоръ въ Женевѣ, теорія котораго о лучистой теплотѣ явилась около 1790 г. По этой теоріи теплота, или калорикъ, постоянно лучеиспускается отъ каждой точки поверхности всѣхъ тѣлъ по прямымъ линіямъ; и это лучеиспусканіе происходитъ тѣмъ обильнѣе, чѣмъ большее количество теплоты содержитъ тѣло. Вслѣдствіе этого происходитъ постоянный обмѣнъ теплоты между сосѣдними тѣлами; и тѣло становится теплѣе или холоднѣе смотря по тому, получаетъ ли оно теплоты больше, чѣмъ теряетъ, или наоборотъ. И такимъ образомъ тѣло охлаждается другимъ холоднымъ тѣломъ потому, что оно испускаетъ въ прямолинейныхъ направленіяхъ тепловыхъ лучей гораздо больше, чѣмъ сколько получаетъ ихъ тѣмъ же путемъ отъ холоднаго тѣла. Эта теорія обмѣна такъ проста и удовлетвори-

тельна, что она скоро сдѣлалась общепринятой. Но мы должны считать ее скорѣе простѣйшимъ способомъ выраженія зависимости сообщенія теплоты отъ излишка температуры, чѣмъ доказаннымъ физическимъ объясненіемъ явленія.

Лесли и другіе сдѣлали много любопытныхъ изслѣдованій о дѣйствіяхъ разнаго рода поверхностей нагрѣвающихъ и нагрѣтыхъ тѣлъ. Я не буду останавливаться на нихъ и только замѣчу, что относительныя количества этой лучеиспускающей и принимающей способности въ каждой поверхности могутъ быть выражены числами. И мы будемъ имѣть случай впослѣдствіи говорить объ ней, когда будетъ рѣчь о внѣшней проводимости, отличающейся отъ внутренней проводимости, означающей относительное количество теплоты, проводимой по внутренности тѣлъ.

§ 3. Повѣрка ученія о Теплопроводимости и Лучеиспусканіи.

Внутренняя и внѣшняя проводимость тѣлъ суть числа, которыя входятъ, какъ элементы или коэффиціенты, въ математическія вычисленія, основывающіяся на ученіяхъ о теплопроводимости и лучеиспусканіи. Эти коэффиціенты для каждаго особеннаго случая опредѣляются соотвѣтствующими опытами; и когда экспериментаторъ получилъ эти числа, также какъ и математич.ское рѣшеніе проблемы, то онъ можетъ увѣриться въ истинѣ своихъ основныхъ принциповъ, сравнивъ въ нѣкоторыхъ особенно подходящихъ случаяхъ результаты, полученные вычисленіемъ или наблюденіемъ. Это сравненіе было сдѣлано Біо *) отно-

* «Traité de Phys.» IV. 671



сительно закона проводимости въ простомъ случаѣ механическаго прута, нагрѣваемаго съ одной стороны; и согласіе съ опытомъ оказалось довольно удовлетворительнымъ. Гораздо труднѣе было произвести это сравненіе въ болѣе сложныхъ случаяхъ теплопроводимости, которые изучалъ Фурье. Но нѣкоторыя любопытныя отношенія, которыя онъ открылъ между температурами различныхъ точекъ кольца, представляютъ достаточный критерій важности его вычисленій и подтверждаютъ точность ихъ *).

Такимъ образомъ мы можемъ считать достаточно доказаннымъ ученіе о лучеиспусканіи и теплопроводимости; такъ что примѣненіе его ко многимъ замѣчательнымъ случаямъ достойно занять мѣсто въ исторіи науки. Мы обращаемся теперь къ нѣкоторымъ изъ этихъ примѣненій.

§ 4. Геологическое и космологическое примѣненіе Термотики.

Самыя важныя примѣненія заключеній, вытекающихъ изъ этихъ ученій, сдѣланы были къ земному шару и къ тѣмъ явленіямъ климата, которыя происходятъ отъ измѣненія температуры; и этимъ же путемъ наука дошла до заключеній относительно другихъ частей вселенной. Еслибы мы имѣли какія-нибудь средства наблюдать эти земныя и космическія явленія въ широкихъ размѣрахъ, то могли бы пріобрѣсти важные факты, изъ которыхъ создалась бы теорія; и

*) «Mém. Inst.» 1819, напечатанные въ 1824 г.

они составляли бы не только внѣшнія прибавки, но настоящія составныя части нашего ученія о теплотѣ. Въ такомъ случаѣ законы распространенія теплоты, открытые нами посредствомъ наблюденій надъ небольшими земными тѣлами, послужили бы намъ для объясненія подобныхъ явленій во вселенной, подобно тому, какъ законы земныхъ движеній объяснили намъ движенія небесныя. Однако мы до сихъ поръ почти вовсе не имѣемъ никакихъ опредѣленныхъ знаній объ условіяхъ и отношеніяхъ теплоты на другихъ тѣлахъ солнечной системы; и даже относительно земли мы знаемъ только температуру слоевъ ея, близкихъ къ поверхности: а наши знанія о томъ, какую роль играетъ теплота во внутренности земли и на небесныхъ тѣлахъ, состоятъ не изъ обобщенія фактовъ, полученныхъ наблюденіями, а изъ выводовъ, сдѣланныхъ изъ теоретическихъ принциповъ. Однако и такое знаніе, получено ли оно путемъ теоріи, или путемъ наблюденія, должно имѣть большой интересъ и важность. Ученія этого рода, о которыхъ мы должны говорить теперь, имѣютъ своимъ предметомъ главнымъ образомъ дѣйствіе солнечной теплоты на землю,—законы климата, термическія условія внутренности земли и термическія условія между-планетныхъ пространствъ.

1. Вліяніе солнечной теплоты на землю. Что солнечная теплота проникаетъ во внутренность земли различнымъ образомъ, зависящимъ отъ различія дней и ночей, лѣта и зимы,—это есть очевидное слѣдствіе нашихъ первыхъ познаній объ этомъ предметѣ. О томъ, какимъ образомъ солнечная теплота проходитъ во внутренность земли, спускаясь ниже поверхности ея, мы

можемъ узнать или изъ наблюденій, или посредствомъ теоретическихъ соображеній. Оба эти метода были испробованы *). Соссюръ съ этой цѣлью рылъ въ 1785 г. глубокія ямы и такимъ образомъ нашелъ, что на глубинѣ около 31 фута годовое колебаніе температуры составляетъ только $^1/_{12}$ часть такого колебанія на поверхности земли. Лесли употреблялъ лучшій методъ; онъ опускалъ глубоко въ землю шарики термометра, между тѣмъ какъ трубка его выходила выше поверхности. Такимъ образомъ въ 1815, 1816 и 1817 г. онъ наблюдалъ температуру на глубинѣ одного, двухъ, четырехъ и восьми футовъ, въ Аботсголлѣ въ Файфширѣ. Результаты показали, что наибольшее годичное колебаніе температуры уменьшается тѣмъ болѣе, чѣмъ глубже мы спускаемся во внутренность земли. На глубинѣ одного фута ежегодное колебаніе температуры составляетъ 25 градусовъ по Фаренгейту и такъ далѣе, какъ показываетъ слѣдующая таблица.

На глубинѣ	ежегодное колебаніе.	
1 фута	25° Фаренг.	11.°1° Реом.
2 футовъ	20 »	8. 9 »
4 »	15 »	6. 7 »
8 »	9½ »	4. 2 »

Время, въ которое бываетъ наибольшая теплота, опаздываетъ все больше и больше противъ поверхности по мѣрѣ того, чѣмъ глубже лежитъ мѣсто наблюденія. На глубинѣ одного фута максимумъ и минимумъ теплоты бываютъ спустя три недѣли послѣ лѣтняго или

*) Лесли, статья Climate, въ прибавленіи къ «Enc. Brit.» 179.

послѣ зимняго равноденствія; на глубинѣ двухъ футовъ они бываютъ спустя четыре или пять недѣль; на глубинѣ 4 футовъ они бываютъ черезъ два мѣсяца, а на глубинѣ 8 футовъ черезъ три мѣсяца. Средняя температура всѣхъ термометровъ была при этомъ почти одинакова. Подобные же результаты получилъ Оттъ въ Цюрихѣ въ 1762 г. и Герреншнейдеръ въ Страсбургѣ въ 1821, 22 и 23 г. *).

Эти результаты были объяснены теоріей Фурье о теплопроводимости. Онъ показалъ **), что когда на поверхность шара дѣйствуетъ періодическая теплота, то извѣстныя перемѣны въ теплотѣ должны равномѣрно проходить во внутренность его и что величина этихъ перемѣнъ уменьшается въ геометрической прогрессіи, если спускаться во внутренность шара въ ариѳметической прогрессіи. Такое заключеніе тотчасъ же можно было примѣнить къ вліянію дней и временъ года на температуру земли; и оно показываетъ, что факты, подобные тѣмъ, которые наблюдалъ Лесли, суть только примѣры подобныхъ общихъ явленій на землѣ и находятся въ совершенномъ согласіи съ принципами, на которыхъ основывается теорія Фурье.

2. **Климатъ.** Слово климатъ, означающее наклоненіе, употреблялось у древнихъ для обозначенія того наклоненія земной оси къ эклиптикѣ, отъ котораго происходитъ неравенство дней въ различныхъ широтахъ. Это неравенство въ длинѣ дня очевидно связано съ разницей въ термическихъ условіяхъ. Мѣста, болѣе

---

*) Пулье, «*Météorologie*», II. 643.

**) «Mém. Inst.» за 1821, напечатанные въ 1826, 162.



близкія къ полюсу, вообще холоднѣе, чѣмъ мѣста, лежащія ближе къ экватору. Очень естественное любопытство заставляло изучать и опредѣлить законы этихъ измѣненій въ теплотѣ.

Такое опредѣленіе представляло однако много трудностей и требовало рѣшенія многихъ предварительныхъ пунктовъ. Какимъ образомъ нужно опредѣлять температуру какого-нибудь мѣста? И если скажутъ, что она должна опредѣляться средней температурой его, то спрашивается, какъ узнать эту среднюю температуру его? Отвѣты на эти вопросы требовали весьма частыхъ наблюденій, точныхъ инструментовъ и осторожныхъ обобщеній, и безъ этого не могутъ быть даны. Но первыя приблизительныя знанія могутъ быть получены безъ большихъ трудностей; напр. за среднюю температуру извѣстнаго мѣста можно принять температуру глубокихъ источниковъ, которая вѣроятно равна температурѣ почвы, лежащей на глубинѣ, до которой не достигаютъ ежегодныя колебанія температуры. Основываясь на этомъ, Майеръ нашелъ, что температура даннаго мѣста почти пропорціональна квадрату косинуса его широты; но впослѣдствіи оказалось, что этотъ законъ, для того чтобы онъ вѣрно выражалъ явленія, долженъ быть значительно исправленъ; потому что, какъ видно, средняя температура зависитъ не только отъ широты, но и отъ распредѣленія суши и воды и отъ другихъ причинъ. Гумбольдтъ изобразилъ эти уклоненія *) средней температуры отъ широты мѣста посредствомъ своей

---

*) «British Assoc.» 1833. Forbes, «*Report on Meteorology*», p. 215.



карты изотермическихъ линій, а Брьюстеръ старался подвести эти линіи подъ законы, предположивъ два полюса наибольшаго холода.

Аналитическое выраженіе, которое нашелъ Фурье *) для распредѣленія теплоты въ однородномъ шарѣ, нельзя прямо сравнить съ эмпирической формулой Майера; такъ какъ оно получено на основаніи опредѣленнаго предположенія, что экваторъ имѣетъ постоянно одинаковую температуру. Но все-таки между ними есть общее согласіе; потому что, согласно теоріи Фурье, и въ опытахъ Майера найдено уменьшеніе теплоты по мѣрѣ удаленія отъ экватора къ полюсамъ; теплота распространяется отъ экватора и сосѣднихъ съ нимъ частей, и затѣмъ изъ полюсовъ посредствомъ лучеиспусканія распространяется въ окружающее ихъ пространство. И такимъ образомъ солнечная теплота доходитъ до земли въ тропическихъ странахъ и постоянно течетъ къ полярнымъ странамъ, изъ которыхъ она лучеиспускается въ междупланетныя пространства. Кромѣ теплопроводимости и лучеиспусканія твердой массы земли, на климатъ дѣйствуютъ еще многія термическія вліянія. Атмосфера напр. производитъ на земную температуру дѣйствіе, которое, очевидно, весьма велико; но мы не въ состояніи вычислить этого дѣйствія **), которое въ свою очередь зависитъ и отъ другихъ свойствъ воздуха, кромѣ его способности пропускать теплоту. Поэтому мы должны оставить въ сторонѣ этотъ предметъ, по крайней мѣрѣ въ настоящее время.

*) Фурье, «*Mém. Inst.*» V. 173.

**) Ibid. VII. 581.



3. Температура внутренности земли. Вопросъ о температурѣ внутренности земли возбудилъ къ себѣ большой интересъ вслѣдствіе своей связи съ другими отраслями знанія. Различные факты, на основаніи которыхъ предполагаютъ, будто-бы центральныя части земнаго шара находятся въ жидкомъ состояніи, относятся вообще къ геологіи; но насколько нужны для ихъ разъясненія и вѣрнаго пониманія термотическія вычисленія, они могутъ быть разсмотрѣны и здѣсь.

Главная проблема относительно явленій этого рода заключается въ слѣдующемъ: если земной шаръ имѣетъ свою собственную первоначальную теплоту, происходящую отъ ея прежнихъ космическихъ условій и независящую отъ дѣйствія солнца, то какіе результаты должна производить эта теплота и насколько наблюденія температуры подъ поверхностью земли подтверждаютъ такое предположеніе? Утверждаютъ напримѣръ, что температура въ глубокихъ минахъ и пещерахъ, находящихся въ разныхъ странахъ, возрастаетъ по мѣрѣ удаленія отъ поверхности на 1 градусъ стоградуснаго термометра на каждые 40 ярдовъ. Какое заключеніе можно вывести изъ этого?

Отвѣтъ на этотъ вопросъ данъ былъ Фурье и Лапласомъ. Первый изъ этихъ математиковъ уже занимался разрѣшеніемъ проблемы охлажденія большаго шара въ своихъ мемуарахъ 1807, 1809 и 1811 г. Но эти мемуары нѣсколько лѣтъ лежали ненапечатанными въ архивахъ Института. Но въ 1820 г., когда накопленіе наблюденій, указывавшихъ на возрастаніе температуры земли по мѣрѣ удаленія отъ поверхности, обратило общее вниманіе на этотъ предметъ, Фурье

представилъ въ бюллетенѣ Филоматическаго Общества *) общій сводъ своихъ результатовъ, относящихся къ этому рендмету. Его заключеніе было таково, своикъ увеличеніе температуры по мѣрѣ приближенія къ центру земли не можетъ происходить ни отъ чего другаго, какъ только отъ остатковъ первобытнаго жара земли; — что теплота, которую сообщаетъ солнце, въ ея окончательномъ и постоянномъ положеніи была бы равномѣрна по одной и той же вертикальной линіи, если не принимать во вниманіе тѣхъ поверхностныхъ колебаній теплоты, о которыхъ мы говорили выше,—и что температура прежде чѣмъ достигнуть этой послѣдней границы должна была бы уменьшаться, а не увеличиваться по мѣрѣ удаленія отъ поверхности, прежде чѣмъ нагрѣть всю землю равномѣрно. Математическими вычисленіями было доказано, что этому предположенію сохраняющихся остатковъ первобытнаго жара не противорѣчитъ замѣтное отсутствіе всякихъ слѣдовъ его на поверхности земли и что та же самая причина, которая производитъ увеличеніе температуры на одинъ градусъ на каждые 40 ярдовъ, не увеличиваетъ температуру поверхности земли на четверть градуса противъ ея обыкновенной температуры. Фурье также пришелъ къ заключеніямъ, хотя конечно весьма неопредѣленнымъ и нерѣшительнымъ, о времени, которое должно было пройти для того, чтобы земля охладилась съ своего первоначальнаго раскаленнаго состоянія до настоящаго ея положенія,—по его мнѣнію это время весьма продолжительно, — и о будущемъ охлажденіи

*) «Bulletin des Sciences». 1820, p. 58.



поверхности, которое по его мнѣнію должно быть нечувствительно. Все доказываетъ, что въ историческій періодъ человѣческаго рода не произошло никакой замѣтной перемѣны въ температурѣ отъ вліянія постояннаго охлажденія центральнаго ядра земли. Лапласъ вычислилъ дѣйствіе *), какое должно было произвести на длину дня сжатіе земнаго шара вслѣдствіе охлажденія. Посредствомъ астрономическихъ соображеній онъ доказалъ, что со временъ Гиппарха день не сдѣлался короче даже на $^1/_{200}$ часть секунды; и это заключеніе его совершенно согласно съ заключеніями Фурье. Что касается этого чрезвычайно малаго дѣйствія перемѣнъ, происходившихъ прежде въ температурѣ земли, то всѣ любопытныя заключенія объ этомъ выведены довольно удовлетворительно изъ замѣчаемаго общаго возвышенія температуры по мѣрѣ удаленія въ глубину отъ поверхности земли. И такимъ образомъ принципы этихъ научныхъ теоретическихъ соображеній даютъ намъ нѣкоторое понятіе о давнопрошедшихъ перемѣнахъ, происходившихъ на землѣ, и объ условіяхъ, въ которыхъ она находилась во время, никакимъ другимъ образомъ кромѣ этого способа недоступное намъ.

4. Теплота между-планетныхъ пространствъ. Такимъ же образомъ этому отдѣлу науки мы обязаны нѣкоторыми свѣдѣніями о тѣхъ частяхъ міроваго пространства, которыя до сихъ поръ были недоступны нашимъ наблюденіямъ. Ученіе о теплотѣ привело насъ къ нѣкоторымъ заключеніямъ о температурѣ пространствъ, которыя окружаютъ землю и въ которыхъ

*) «Conn. des Tems», 1823.



вращаются планеты солнечной системы. Фурье въ своемъ мемуарѣ, напечатанномъ въ 1827 г. *), утверждаетъ на основаніи своихъ принциповъ, что эти между-планетныя пространства не абсолютно холодны, но имѣютъ «собственную теплоту», не зависящую отъ солнца и планетъ. Еслибы не было этой теплоты, то холодъ полярныхъ странъ былъ бы гораздо сильнѣе, чѣмъ онъ есть теперь, и перемѣны холода и тепла, происходящія отъ вліянія солнца, были бы гораздо рѣзче и быстрѣе, чѣмъ онѣ есть теперь. Причину этой теплоты въ между-планетныхъ пространствахъ онъ находитъ въ лучеиспусканіи теплоты безчисленныхъ звѣздъ, разсѣянныхъ по вселенной.

«Что все это такъ,—говоритъ Фурье **),—объ этомъ мы заключаемъ изъ этихъ различныхъ замѣчаній», а главнымъ образомъ изъ математическаго изслѣдованія вопроса. Я не знаю, чтобы были гдѣ-нибудь напечатаны математическія вычисленія, относящіяся къ этому вопросу. Но замѣчательно, что Сванбергъ †) пришелъ къ тому же заключенію о температурѣ этихъ пространствъ, какъ и Фурье (онъ принималъ ее въ 50° ниже 0 по стоградусному термометру), хотя онъ и основывался на совершенно другихъ соображеніяхъ; именно на отношеніи атмосферы къ теплотѣ.

Говоря объ этомъ предметѣ, я невольно пришелъ къ мысли о неполномъ и можетъ быть даже сомнительномъ примѣненіи математическихъ теорій къ теплопроводимости и лучеиспусканію. Но эти примѣненія

---

*) «Mém. Inst.» VII. 580. **) Ibid. 581.

†) Берцеліусъ, «*Jahresbericht*», XI. 50.



показываютъ по крайней мѣрѣ, что Термотика есть наука, которая подобно Механикѣ основывается на наблюденіяхъ и опытахъ надъ земными и доступными намъ массами, но которая, подобно ей, имѣетъ своей высшей задачей разрѣшеніе геологическихъ и космологическихъ проблемъ. — Затѣмъ мы снова возвращаемся къ дальнѣйшему прогрессу нашихъ термотическихъ знаній.

§ 5. Исправленіе Ньютоновскаго закона Охлажденія.

Говоря о Ньютоновскомъ предположеніи, что сообщаемая температура пропорціональна излишку температуры, мы сказали, что оно было приблизительно подтверждено и впослѣдствіи поправлено (глава I, § 1). Эта поправка была результатомъ изслѣдованій Дюлона и Пети въ 1817 г.; эти изслѣдованія, посредствомъ которыхъ они дошли до вѣрнаго закона, представляютъ удивительный примѣръ ревностнаго экспериментированія и остроумной индукціи. Они производили опыты надъ чрезвычайно большимъ количествомъ температуръ, доходили выше 240 градусовъ стоград. терм., — что было необходимо потому, что неточность ньютоновскаго закона становилась довольно значительной только при высокихъ температурахъ. Они устраняли вліянія окружающей среды тѣмъ, что производили свои опыты въ пустомъ пространствѣ. Они съ большимъ умѣньемъ и приспособительностью выбирали условія своихъ опытовъ и сравненій, заставляя измѣняться одну изъ наблюдаемыхъ величинъ, между тѣмъ какъ всѣ другія оставляли при этомъ неизмѣнными.

Такимъ способомъ они нашли, что скорость охлажденія для каждаго постояннаго излишка температуры возрастаетъ въ геометрической прогрессіи, если температура окружающей среды возрастаетъ въ ариѳметической прогрессіи; между тѣмъ какъ по прежнему положенію Ньютона эта скорость не измѣняется вовсе. Затѣмъ, если оставить безъ вниманія это измѣненіе, оказалось, что скорость охлажденія, насколько оно зависитъ отъ излишка температуры нагрѣтаго тѣла, возрастаетъ какъ члены геометрической прогрессіи, уменьшенные постояннымъ числомъ, если температура нагрѣтаго тѣла увеличивается въ ариѳметической прогрессіи. Эти два закона съ присоединеніемъ коэффиціентовъ, необходимыхъ для ихъ примѣненія къ отдѣльнымъ веществамъ, вполнѣ опредѣляютъ условія охлажденія всѣхъ тѣлъ въ пустомъ пространствѣ.

Выходя изъ этого опредѣленія, Дюлонъ и Пети рѣшились опредѣлить вліяніе на пропорцію охлажденія нагрѣтаго тѣла со стороны той среды, въ которой оно находится; потому что это вліяніе есть новое и постоянное явленіе, которое не принималось въ разсчетъ, когда охлажденіе производилось въ пустомъ пространствѣ *). Мы не будемъ здѣсь подробно слѣдить за ходомъ изслѣдованій, но замѣтимъ только, что они привели къ слѣдующимъ законамъ: быстрота охлажденія, производимаго какой-нибудь газообразной средой, въ

---

*) См. мою «Философію Индуктивныхъ Наукъ» кн. XIII, гл. VII, § 4.



которой находится тѣло, остается постоянной до тѣхъ поръ, пока излишекъ температуры тѣла остается постояннымъ, хотя бы абсолютная температура тѣла и измѣнялась; — охлаждающая способность газовъ измѣняется съ ихъ эластичностью по опредѣленному закону. Кромѣ того они получили еще нѣсколько другихъ подобныхъ правилъ.

Относительно употребленной ими индукціи нужно замѣтить, что они основывали свои умозаключенія на законѣ обмѣна теплоты Прево и что второй изъ ихъ вышеприведенныхъ законовъ, относительно скорости охлажденія, былъ только математическимъ слѣдствіемъ перваго. Слѣдуетъ замѣтить также, что они измѣряли температуры посредствомъ воздушнаго термометра и что еслибы они употребили для измѣренія другія скалы, то въ ихъ результатахъ не было бы такой замѣчательной простоты и симметріи. Это есть сильное доказательство въ пользу мнѣнія, что такое измѣреніе температуры имѣетъ за собой естественное преимущество простоты. Это же мнѣніе подтверждается и другими соображеніями, о которыхъ впрочемъ здѣсь не мѣсто говорить, такъ какъ они основываются на законахъ расширенія отъ теплоты. Здѣсь же мы должны кончить нашъ обзоръ математической теоріи теплоты, основывающейся на явленіяхъ лучеиспусканія и проводимости теплоты; такъ какъ эти только явленія сведены къ общимъ принципамъ.

Прежде чѣмъ оставить этотъ предметъ, мы замѣтимъ еще, что изложенная здѣсь поправка Ньютоновскаго закона существенно измѣнила математическія вычисленія объ этомъ предметѣ, сдѣланныя на осно-

ваніи этого закона Фурье, Лапласомъ и Пуассономъ. Вѣроятно впрочемъ, что результаты въ общихъ чертахъ останутся такими же, какъ они получались при прежнемъ предположеніи. Либри, итальянскій математикъ, разработалъ одну изъ проблемъ этого рода, именно проблему металлическаго кольца на основаніи законовъ Дюлона и Пети, въ мемуарѣ, читанномъ во Французскомъ Институтѣ въ 1825 г. и послѣ того напечатанномъ во Флоренціи *).

§ 6. Другіе законы явленій лучеиспусканія.

Явленія лучеиспусканія теплоты, насколько они зависятъ отъ поверхности лучеиспускающихъ тѣлъ и видоизмѣняются разнаго рода ширмой, поставленной между лучеиспускающимъ тѣломъ и термометромъ, были изслѣдуемы многими физиками. Я не буду здѣсь разсказывать о ходѣ этихъ изслѣдованій и приводить различные законы, которые выведены изъ нихъ для свѣтящейся и несвѣтящейся теплоты, дѣйствующей на принимающія ее тѣла, какъ прозрачныя, такъ и непрозрачныя. Однако есть между ними два или три закона о вліяніи поверхности тѣлъ, заслуживающіе по своей важности быть упомянутыми здѣсь.

1. Способность тѣлъ какъ лучеиспускать теплоту такъ и принимать или поглощать ее въ себя, зависящая отъ ихъ поверхности, повидимому одинакова. Если мы покрасимъ черной краской поверхность банки съ горячей водой, то она обильнѣе лучеиспускаетъ теплоту; въ

*) «Mém de Math. et de Phys.» 1829.



той же самой степени она и больше нагрѣвается лучеиспусканіемъ отъ другаго нагрѣтаго тѣла.

2. Въ той мѣрѣ, въ какой увеличивается лучеиспускающая способность тѣла, уменьшается его отражающая способность. Блестящій полированный металлическій сосудъ отражаетъ много теплоты; поэтому онъ не много лучеиспускаетъ ея. На этомъ основаніи нагрѣтая жидкость, которая содержится въ такомъ сосудѣ, остается нагрѣтой дольше, чѣмъ оставалась бы въ сосудѣ неполированномъ.

3. Теплота лучеиспускается каждой точкой поверхности тѣла во всѣхъ направленіяхъ, но не во всѣхъ съ одинаковой напряженностью. Напряженность тепло별 ваго луча пропорціональна синусу угла, который онъ образуетъ съ поверхностью.

Послѣдній изъ этихъ законовъ весь, а два первые въ большей части своей открыты были изслѣдованіями Лесли, котораго «Experimental Inquiry into te Nature and Propagation of Heat», напечатанное въ 1804 г., содержитъ въ себѣ множество любопытныхъ и поразительныхъ результатовъ и соображеній. Приведенные законы имѣли весьма важное значеніе въ дѣлѣ образованія теоріи, къ разсмотрѣнію котораго мы и обратимся теперь и посмотримъ, что было сдѣлано въ этомъ отношеніи, помня однако при этомъ, что мы имѣемъ здѣсь дѣло только съ явленіями теплопроводимости и лучеиспусканія.

§ 7. Теорія лучеиспусканія теплоты, Фурье.

Когда всѣ вышеизложенные законы явленій были уже открыты, то естественно было, что естество-

испытатели старались составить себѣ какое-нибудь понятіе о той физической причинѣ, которой можно было бы объяснять какъ эти законы, такъ и общіе основные факты Термотики; напр. тотъ фактъ, что всѣ тѣла, заключенныя въ извѣстное пространство, принимаютъ современемъ температуру этого пространства. Объясненіе этихъ явленій, представленное Фурье, можетъ считаться счастливымъ и успѣшнымъ; потому что онъ показалъ, что то же самое предположеніе, къ которому приводятъ насъ самые простые и общіе факты, можетъ достаточно объяснить и самые запутанные, менѣе очевидные и сложные факты. Очевидный и общій фактъ состоитъ въ томъ, что тѣла, заключенныя въ какомъ-либо пространствѣ, стремятся принять температуру этого пространства. Для объясненія этого факта одинаковости температуръ въ соприкасающихся тѣлахъ составлена гипотеза, которая, какъ оказалось, объясняетъ также и вышеупомянутый законъ Лесли, по которому напряженность тепловаго луча пропорціональна синусу его угла съ лучеиспускающей поверхностью.

Эта гипотеза состоитъ въ томъ, что лучеиспусканіе происходитъ не отъ одной только поверхности нагрѣтаго тѣла, но отъ всѣхъ частичекъ его, лежащихъ на извѣстной небольшой глубинѣ отъ поверхности. Легко видѣть *), что по этому предположенію тепловой лучъ, испускаемый наклонно такими внутренними частичками, будетъ менѣе напряженъ или силенъ, чѣмъ лучъ, исходящій перпендикулярно къ поверхности, по-

*) «Mém. Inst.». V. 1821. 204.



тому что первый лучъ будетъ останавливаемъ или ослабляемъ въ большей степени, такъ какъ ему нужно пройти болѣе длинный путь внутри тѣла; и Фурье показываетъ, что каковъ бы ни былъ законъ этой ослабляющей силы, результатъ всегда будетъ тотъ, что лучеиспускающая напряженность или интенсивность пропорціональна синусу угла, составляемаго лучемъ съ поверхностью.

Этотъ же законъ, какъ я уже сказалъ, объясняетъ также, почему сосѣднія тѣла стремятся принять одинаковую температуру, какъ напр. когда маленькая частичка, помѣщенная въ шарообразную чашку, принимаетъ наконецъ температуру этой чашки. Еслибы не дѣйствовалъ законъ синусовъ, то окончательная температура этой частички зависѣла бы отъ ея мѣста въ чашкѣ *), и еслибы эта чашка была сдѣлана изъ льда, то въ извѣстныхъ точкахъ внутри ея мы получили бы температуру кипящей воды и температуру плавленія желѣза.

Это на первый разъ можетъ показаться страннымъ и невѣроятнымъ; но оно можетъ быть доказано, какъ необходимое слѣдствіе предположеннаго принципа, весьма простымъ соображеніемъ, которое въ его общей формѣ я приведу въ примѣчаніи **).

*) «Ann Chim.», IV. 1817. 129.

**) Слѣдующее доказательство можетъ объяснить связь закона синусовъ въ лучеиспускающей теплотѣ съ общимъ принципомъ окончательнаго тожества температуръ въ сосѣднихъ тѣлахъ. Равновѣсіе и тожество температуры между шарообразной чашкой и заключеннымъ въ нее тѣломъ можетъ установиться въ цѣломъ только тогда, когда оно

Это доказательство можетъ быть представлено въ болѣе удовлетворительной формѣ, при помощи математическихъ символовъ; и оно показываетъ, что законъ синусовъ Лесли есть точное и математическое подтвержденіе гипотезы Фурье. И такимъ образомъ теорія Фурье о молекулярномъ лучеиспусканіи теплоты наружу пріобрѣтаетъ себѣ внутреннюю прочность.

§ 8. Открытіе поляризаціи теплоты.

Законы, объ открытіи которыхъ мы говорили въ предшествующихъ параграфахъ этой главы, и объ-

---

установится между каждой парой частичекъ двухъ поверхностей, поверхности тѣла и поверхности чашки; т. е. каждая частичка одной поверхности въ своемъ обмѣнѣ съ каждой изъ частичекъ другой должна отдать и получить одинаковое количество теплоты. Но обмѣниваемое количество теплоты, насколько оно зависитъ отъ принимающей поверхности, будетъ, какъ видно изъ геометріи, пропорціонально синусу наклоненія этой поверхности: и такъ какъ въ дѣлѣ обмѣна каждый пунктъ долженъ считаться принимающимъ, то отдаваемое количество должно быть пропорціонально синусу обоихъ наклоненій, т. е. наклоненію дающей и наклоненію принимающей поверхности.

Это заключеніе не ослабляется тѣмъ соображеніемъ, что не всѣ лучи теплоты, которые падаютъ на поверхность, поглощаются, но что нѣкоторые изъ нихъ отражаются смотря по свойству поверхности. Потому что, на основаніи втораго изъ вышеприведенныхъ законовъ, мы знаемъ, что поверхность, теряя способность принимать теплоту, теряетъ способность и отражать ее; и такимъ образомъ части поверхности, вслѣдствіе поглощенія своего собственнаго лучеиспусканія, пріобрѣтаютъ теплоты столько, сколько они теряютъ, не поглощая теплоты чужихъ, падающихъ на нихъ лучей.

ясненія ихъ теоріями теплопроводимости и лучеиспусканія, заключаютъ въ себѣ понятіе о матеріальномъ веществѣ теплоты, или калорикѣ, которое распространяется посредствомъ дѣйствительнаго истеченія и испусканія, къ которымъ привыкъ человѣческій умъ въ обыкновенныхъ вещественныхъ предметахъ. Это воззрѣніе на теплоту и до послѣдняго времени считалось большею частью естествоиспытателей самымъ вѣроятнымъ понятіемъ о сущности теплоты. Но недавно сдѣланы были въ Термотикѣ открытія, которыя способны совершенно разрушить это воззрѣніе и которыя представляютъ теорію истеченія такъ же несостоятельною въ примѣненіи къ теплотѣ, какъ она прежде была найдена несостоятельною въ примѣненіи къ свѣту. Я разумѣю здѣсь открытіе Поляризаціи Теплоты. Было найдено, что лучи теплоты поляризуются такимъ же образомъ, какъ и лучи свѣта; и потому мы можемъ принимать ученіе о томъ, что теплота распространяется посредствомъ матеріальнаго лучеиспусканія частичекъ, только предполагая, что эти частички имѣютъ полюсы,— предположеніе, съ которымъ едвали кто-либо согласится; потому что, не говоря уже о томъ несчастіи, которое постигло гипотезу истеченія относительно свѣта и которое невольно отталкиваетъ отъ ней мыслящаго естествоиспытателя, внутренняя связь между теплотой и свѣтомъ не позволяетъ предполагать, чтобы поляризація въ этихъ двухъ явленіяхъ производилась двумя различнаго рода способами и механизмами.

Но, не разсматривая подробнѣе вліянія, какое поляризація теплоты можетъ имѣть на образованіе на-

шихъ теорій теплоты, мы кратко разскажемъ исторію этого важнаго открытія, принимая его просто какъ законъ явленій.

Аналогія и связь между свѣтомъ и теплотою до такой степени велики, что когда открыта была поляризація свѣта, то естествоиспытатели тотчасъ же пришли къ мысли испытать, не обладаетъ ли и теплота соотвѣтствующимъ свойствомъ. Но частью вслѣдствіе трудности получить какое-нибудь значительное дѣйствіе теплоты отдѣльно отъ свѣта, частью же вслѣдствіе недостатка въ термометрическомъ аппаратѣ, достаточно чувствительномъ, первыя попытки въ этомъ направленіи не привели къ рѣшительнымъ результатамъ. Бераръ занялся этимъ предметомъ въ 1813 г. Онъ употреблялъ аппаратъ Малюса; и ему казалось, будто онъ нашелъ, что теплота поляризуется отраженіемъ отъ поверхности стекла такимъ же образомъ и при такихъ же обстоятельствахъ, какъ и свѣтъ *). Но когда Поуэлль въ Оксфордѣ повторилъ въ 1830 г. тѣ же опыты и съ подобнымъ же аппаратомъ, то онъ нашелъ **), что хотя теплота, сопровождаемая свѣтомъ, и поляризуется, но что «простая лучеисходящая теплота», какъ онъ ее называетъ, не представляетъ ни малѣйшей разницы въ двухъ прямоугольныхъ азимутахъ втораго стекла и, значитъ, не показываетъ ни малѣйшаго слѣда поляризаціи.

Такимъ образомъ, пока въ наукѣ существовали только старые термометры, этотъ пунктъ оставался

*) «Ann. Chim.» Мартъ 1813.

**) «Edinb. Journ. of Science», 1830, II. 303.

подъ сомнѣніемъ; но вскорѣ послѣ того Меллони и Нобили изобрѣли аппаратъ, основанный на извѣстныхъ гальваническихъ законахъ, о которыхъ мы будемъ говорить впослѣдствіи, и назвали его Термомультипликаторомъ; онъ чувствительнѣе всѣхъ прежнихъ инструментовъ къ малѣйшимъ измѣненіямъ температуры. Однако и съ этимъ инструментомъ Меллони потерпѣлъ неудачу и не открылъ замѣтной поляризаціи теплоты турмалиномъ *); не открылъ ее и Нобили **), повторяя опыты Берара. Въ этихъ опытахъ хотѣли поляризовать теплоту отраженіемъ отъ стекла, какъ поляризуется свѣтъ; и количество отраженной теплоты было такъ мало, что малѣйшая неизбѣжная ошибка могла скрыть всю разницу въ температурѣ двухъ противоположныхъ положеній. Но когда Форбесъ въ Эдинбургѣ (1834) употребилъ для подобныхъ опытовъ слюду, то нашелъ весьма замѣтное поляризующее дѣйствіе, происходящее вопервыхъ тогда, когда теплота проходитъ черезъ нѣсколько листочковъ слюды подъ извѣстнымъ угломъ, и во вторыхъ тогда, когда она отражается отъ нихъ. Въ этихъ случаяхъ онъ нашелъ, что не свѣтящаяся теплота, даже теплота воды ниже точки кипѣнія, обнаруживаетъ различную тепловую способность въ двухъ полярно-противоположныхъ положеніяхъ (параллельныхъ и лежащихъ накрестъ). Самыми тщательными опытами онъ открылъ также †) и поляризующее дѣйствіе турмалина. Это

*) «Ann. Chim.» IV.

**) «Bibliothèque universelle».

†) «Ed. R. S. Trans.» vol. XIV; и «Phil. Mag.» 1835. vol. V. p. 209. Ibid. vol. VII. 349.

важное открытіе тотчасъ же было подтверждено Меллони. При этомъ заявлены были сомнѣнія, не происходитъ ли различное дѣйствіе теплоты въ противоположныхъ направленіяхъ отъ какихъ-либо другихъ обстоятельствъ. Но Форбесъ легко показалъ, что это сомнѣніе не можетъ имѣть мѣста. И такимъ образомъ различіе двухъ сторонъ въ лучѣ, которое казалось столь страннымъ въ лучахъ свѣта, доказано было и для лучей теплоты. Кромѣ того Форбесъ нашелъ, что, заставляя лучъ теплоты проходить черезъ пластинку слюды въ опредѣленномъ направленіи, можно получить при извѣстныхъ положеніяхъ пластинки дѣйствіе подобное тому, которое въ явленіяхъ свѣта названо деполяризаціей, и которое выражается неполнымъ разрушеніемъ тѣхъ различій, которыя произвела поляризація.

Еще прежде этого открытія, Меллони уже доказалъ опытами, что теплота преломляется прозрачными веществами такъ же, какъ свѣтъ. Въ явленіяхъ свѣта впослѣдствіи было найдено, какъ мы уже видѣли, что *де*поляризующее дѣйствіе есть собственно *ди*поляризующее или двояко поляризующее; такъ какъ лучъ посредствомъ двоякаго преломленія раздѣляется на два луча. Поэтому естественно явилось желаніе объяснить подобнымъ же образомъ и диполяризующее дѣйствіе въ явленіяхъ теплоты. Но это еще не доказано, простирается ли до такой степени аналогія между свѣтомъ и теплотою.

Необходима большая осторожность въ попыткахъ нашихъ отожествлять законы свѣта и теплоты, потому что, при всѣхъ сходствахъ, между этими двумя аген-

тами существуютъ однако весьма важныя отличія. Способность тѣлъ пропускать черезъ себя свѣтъ, или ихъ прозрачность, очень отлична отъ ихъ способности пропускать теплоту, или Теплопрозрачности, какъ назвалъ ее Меллони. Такимъ образомъ напр. пластинка изъ квасцовъ и пластинка изъ каменной соли пропускаютъ черезъ себя почти весь свѣтъ; но тогда какъ первая изъ нихъ задерживаетъ почти всю теплоту, вторая задерживаетъ ея весьма мало; а пластинка изъ непрозрачнаго кварца, почти непроницаемая для свѣта, пропускаетъ черезъ себя значительное количество теплоты. Если пропускать лучи черезъ извѣстныя вещества, то теплоту можно какъ-бы просѣять и отдѣлить отъ свѣта, который ее сопровождаетъ.

(2-е изд.). [Теплопрозрачность тѣлъ отлична отъ ихъ свѣтовой прозрачности, такъ какъ одни и тѣ же тѣла обладаютъ неодинаковою способностью отдѣлять и поглощать извѣстные лучи свѣта и теплоты. Однако новѣйшія изслѣдованія естествоиспытателей, занимавшихся Термотикой (Деларошъ, Поуэлль, Меллони и Форбесъ), повидимому доказываютъ, что существуетъ близкая аналогія между поглощеніемъ извѣстныхъ цвѣтныхъ лучей прозрачными тѣлами и поглощеніемъ извѣстнаго рода теплоты теплопрозрачными тѣлами. Несвѣтящіеся источники теплоты испускаютъ тепловые лучи, имѣющіе аналогію съ голубыми и фіолетовыми лучами свѣта; а въ высшей степени свѣтящіеся источники теплоты испускаютъ тепловые лучи аналогическіе съ красными свѣтовыми лучами. Посредствомъ измѣренія угла полнаго отраженія теплоты различнаго рода было найдено, что перваго рода тепловые лучи

дѣйствительно имѣютъ меньшую преломляемость, чѣмъ послѣдніе *).

Меллони считалъ эту аналогію до такой степени точною и доказанною, что предложилъ для этой части Термотики особенное имя Термохроологіи (не лучше ли Хромотермотики?) и кромѣ того еще много другихъ терминовъ, заимствованныхъ съ греческаго и основанныхъ на аналогіи теплоты съ свѣтомъ. Если въ сочиненіи, которое онъ предполагаетъ напечатать объ этомъ предметѣ, будетъ доказано, что ученіе его, основанное на этой аналогіи, не можетъ быть понято и уяснено безъ предлагаемыхъ имъ терминовъ, то конечно его номенклатура войдетъ въ употребленіе. Но вообще въ ученыхъ сочиненіяхъ слѣдуетъ избѣгать введенія такого большаго количества новыхъ терминовъ и названій.

Открытая Меллони необыкновенно сильная способность каменной соли пропускать теплоту и открытая Форбесомъ тоже сильная способность слюды поляризовать и деполяризовать теплоту, дали экспериментаторамъ надъ теплотою два совершенно новыхъ и драгоцѣнныхъ инструмента| **).

---

*) См. «*Third Series of Researches on Heat*» Форбеса, Edinb. R. S. Trans. vol. XIV.

**) Свѣдѣнія о многихъ термотическихъ изслѣдованіяхъ, о которыхъ я по необходимости не могъ говорить здѣсь, можно найти въ двухъ отчетахъ Поуэлля о настоящемъ состояніи нашихъ знаній о лучистой теплотѣ въ «*Reports of the British Association*» за 1832 и 1840 гг.



Кромѣ законовъ Проводимости и Лучеиспусканія открыты были естествоиспытателями другіе законы тепловыхъ явленій; и ихъ также слѣдуетъ разсмотрѣть прежде, чѣмъ можно будетъ говорить о какой-нибудь теоріи теплоты. Къ этимъ законамъ мы и перейдемъ теперь.

ГЛАВА II.

Законы Измѣненій, производимыхъ Теплотой.

§ 1. Расширеніе отъ Теплоты. — Законъ Дальтона и Гей-люссака относительно Газовъ.

Почти всѣ тѣла отъ теплоты расширяются; твердыя тѣла, какъ напримѣръ металлы, расширяются въ слабой степени; жидкости же, какъ напримѣръ вода, масло, алкоголь, ртуть, растворяются въ сильной степени. Это былъ первый фактъ, которымъ особенно занимались физики, изучавшіе теплоту, потому что это свойство могло служить мѣрою для теплоты. Въ Философіи Индуктивныхъ Наукъ (книга IV, глава IV), я сказалъ, что вторичныя качества вещей, какова напр. теплота, могутъ быть измѣряемы ихъ дѣйствіями; а въ § 4 этой же главы я описалъ всѣ послѣдовательныя попытки, сдѣланныя для полученія мѣры теплоты. Я говорилъ также о результатахъ, которые были получены посредствомъ сравненія различной расширяемости различныхъ веществъ, которая названа была

различнымъ термометрическимъ ходомъ каждаго вещества. Ртуть представляется жидкостью, которая весьма равномѣрна въ своемъ термометрическомъ ходѣ; и потому она служитъ самымъ обыкновеннымъ матеріаломъ для нашихъ термометровъ. Но расширеніе ртути не пропорціонально теплотѣ. Де-Люкъ, посредствомъ своихъ опытовъ, пришелъ къ заключенію, что «расширеніе ртути идетъ ускореннымъ ходомъ при равныхъ увеличеніяхъ теплоты». Дальтонъ предполагалъ, что вода и ртуть отъ точки ихъ наибольшаго сжатія расширяются пропорціонально квадратамъ дѣйствительной теплоты; причемъ эта температура измѣрялась такъ, чтобы она соотвѣтствовала этому результату. Но ни одно изъ этихъ предположеній о расширеніи твердыхъ тѣлъ и жидкостей не привело ни къ какому опредѣленному закону.

Термометрическія изслѣдованія относительно газовъ имѣли болѣе успѣха. Газы расширяются отъ теплоты; и ихъ расширеніе слѣдуетъ закону, который одинаково примѣнимъ ко всѣмъ градусамъ теплоты и ко всѣмъ газообразнымъ жидкостямъ. Законъ этотъ состоитъ въ слѣдующемъ: при равныхъ увеличеніяхъ температуры они расширяются на равную часть своего объема; эта часть составляетъ $^3/_8$ для температуры между замерзаніемъ и кипѣніемъ воды. Этотъ законъ былъ открытъ Дальтономъ и Гей-Люссакомъ, независимо одинъ отъ другаго *); и потому обыкновенно называется именами ихъ обоихъ, закономъ Дальтона и

*) «Manch. Mem.» vol. V. 1802 и «Annal. de Chimie», XLIII. стр. 137.

Гей-Люссака. Этотъ послѣдній говоритъ *): «Опыты, которые я описалъ и которые были произведены съ большою тщательностью, доказываютъ неоспоримо, что кислородъ, водородъ, газы азотноватой, азотной, аммоніакъ, газы соляной, сѣрной и угольной кислотъ расширяются одинаково при одинаковомъ возвышеніи температуры. Такимъ образомъ,—прибавляетъ онъ, дѣлая настоящее индуктивное обобщеніе,—результатъ не зависитъ отъ физическихъ свойствъ; и потому я заключаю, что всѣ газы расширяются отъ теплоты одинаково». Это положеніе должно быть однимъ изъ самыхъ важныхъ краеугольныхъ камней всякой здравой теоріи теплоты.

(2-е изд.) [Магнусъ и Реньо думали однако, что они разрушили этотъ законъ Дальтона и Гей-Люссака, и показали, что различные газы расширяются не на одинаковое количество при одинаковомъ увеличеніи температуры. Магнусъ нашелъ, что расширеніе для атмосфернаго воздуха составляетъ 1.366, для водорода 1.365, для угольной кислоты 1.369, для газа сѣрнистой кислоты 1.385. Но эти разницы не больше тѣхъ, которыя получены различными наблюдателями даже для одного и того же вещества, и потому этотъ законъ, имѣющій отношеніе къ гипотезѣ Лапласа, о которой будетъ говорено впослѣдствіи, я не считаю пока опровергнутымъ.

Но что величина расширенія при извѣстныхъ обстоятельствахъ не одинакова у различныхъ газовъ, это кажется весьма вѣроятнымъ послѣ недавнихъ изслѣдо-

*) Ibid. 272.

ваній Фарадэя о превращеніи въ жидкое и твердое состояніе тѣлъ, существующихъ при обыкновенныхъ условіяхъ въ видѣ газовъ *). Изъ этихъ изслѣдованій оказывается, что упругость паровъ, находящихся въ соприкосновеніи съ жидкостью, изъ которой они произошли, возрастаетъ различно для различныхъ веществъ. «Что сила паровъ, говоритъ онъ, возрастаетъ въ геометрической прогрессіи при равныхъ увеличеніяхъ температуры, это вѣрно для всѣхъ тѣлъ; но эта прогрессія не для всѣхъ тѣлъ одинакова. Потому что для того, чтобы увеличить давленіе паровъ нижеозначенныхъ тѣлъ отъ двухъ до шести атмосферъ, нужно нагрѣть ихъ не на одинаковое число градусовъ, а съ слѣдующими разницами: для воды 69°, для сѣрнистой кислоты 63°, для синерода 64°5, для аммонія 60°, для мышьяковистаго водорода 54°, для сѣрнистаго водорода 56°5, для хлористоводородной кислоты 43°, для угольной кислоты 32°5, для окиси азота 30°].

Мы уже сказали, что воздушный термометръ есть самая лучшая мѣра для теплоты, и это мнѣніе сильно подтверждается симметричностью, которую при употребленіи его можно ввести въ законы лучеиспусканія теплоты. Если мы примемъ законъ Дальтона и Гей-Люссака, то оказывается, что преимущества воздушнаго термометра не зависятъ отъ какихъ-нибудь особенныхъ свойствъ атмосфернаго воздуха, а вообще отъ свойствъ въ газахъ. Вслѣдствіе этого, воздушный термометръ пріобрѣтаетъ еще болѣе общности и простоты, которыя еще болѣе дѣлаютъ вѣроятнымъ, что

*) «Phil. Trans.», 1845, pt. I.

онъ можетъ быть истинной мѣрой теплоты. Это мнѣніе еще болѣе подтверждается попытками, которыя сдѣланы были для подведенія подобныхъ явленій подъ теоріи. Но прежде чѣмъ мы станемъ разсматривать эти теоріи, мы должны сказать еще о нѣкоторыхъ другихъ ученіяхъ, введенныхъ въ этотъ отдѣлъ науки.

§ 2. Специфическая Теплота.—Перемѣны въ Консистенціи тѣлъ.

Во время попытокъ, которыя дѣланы были для отысканія лучшей мѣры теплоты, было найдено, что тѣла имѣютъ различныя способности къ воспринимацію теплоты, или различную теплоемкость; потому что одинаковое количество теплоты, какъ бы оно ни измѣрялось, возвыситъ на неодинаковое число градусовъ температуру различныхъ веществъ. Поэтому въ науку введено было понятіе о различной теплоемкости тѣлъ и принято было, что каждое тѣло имѣетъ особенную способность къ теплотѣ, или специфическую теплоту, которая опредѣляется количествомъ теплоты, нужной для того, чтобы нагрѣть извѣстное тѣло до опредѣленнаго градуса теплоты *). Терминъ способность къ теплотѣ или теплоемкость, былъ введенъ Ирвиномъ, ученикомъ Блека. Но Вильке, шведскій физикъ, замѣнилъ этотъ терминъ выраженіемъ: «специфическая и удѣльная теплота», по аналогіи со «специфическимъ или удѣльнымъ вѣсомъ».

*) Подробности объ исторіи специфической или удѣльной теплоты, смотри: «Crawfurd, on Heat».

Было найдено также, что удѣльная теплота, или теплоемкость одного и того же тѣла, различна при различныхъ температурахъ. Изъ опытовъ Дюлона и Пети слѣдуетъ, что вообще удѣльная теплота жидкостей и твердыхъ тѣлъ увеличивается по мѣрѣ возвышенія ихъ температуры.

Но однимъ изъ самыхъ важныхъ термотическихъ фактовъ было то, что при быстромъ сжатіи какой бы то ни было массы температура ея повышается значительно. Это явленіе особенно рѣзко обнаруживается въ газахъ, напр. въ атмосферномъ воздухѣ. Весьма важно знать количество возвышенія температуры отъ быстраго сжатія, или количество холода, происходящаго при разрѣженіи тѣла, потому что это количество, какъ мы уже видѣли, опредѣляетъ скорость звука и отъ него зависятъ многіе пункты метеорологіи. Коэффиціентъ, который нужно вычислить для перваго случая, зависитъ отъ отношенія двухъ специфическихъ теплотъ воздуха при разныхъ условіяхъ: во первыхъ, когда, измѣняя плотность его, мы оставляемъ неизмѣннымъ давленіе, подъ которымъ находится воздухъ, и во вторыхъ, когда, измѣняя плотность, мы оставляемъ неизмѣннымъ пространство, въ которое заключенъ воздухъ.

Одно изъ важнѣйшихъ вліяній, производимыхъ теплотой на тѣла, состоитъ въ томъ, что она измѣняетъ ихъ «форму» то есть переводитъ ихъ въ твердое, жидкое и воздухообразное состояніе. Такъ какъ терминъ форма, употребляется въ слишкомъ многихъ и разнообразныхъ значеніяхъ, то вмѣсто его, для избѣжанія двусмысленности, я употреблю терминъ Консистенція, и надѣюсь, что меня извинятъ, если я буду

употреблять этотъ терминъ даже и относительно газовъ, хотя такая фразеологія и неупотребительна. Такимъ образомъ, когда твердое тѣло становится жидкимъ или жидкое — воздухообразнымъ, то это значитъ, что происходятъ перемѣны въ ихъ консистенціи; и законы этихъ перемѣнъ составляютъ самые существенные факты для нашихъ термотическихъ теорій. Мы еще до сихъ поръ не имѣемъ достаточно ясныхъ понятій о законахъ, управляющихъ этими перемѣнами; но одинъ изъ нихъ, имѣющій большую важность, уже открытъ; объ немъ мы и будемъ говорить теперь.

§ 3. Ученіе о Скрытой Теплотѣ.

Ученіе о Скрытой Теплотѣ относится къ тѣмъ перемѣнамъ въ консистенціи тѣлъ, о которыхъ мы сейчасъ сказали. Именно при переходѣ тѣлъ изъ твердаго состоянія въ жидкое, или изъ жидкаго въ воздухообразное, этимъ тѣламъ сообщается теплота, которая не можетъ быть открыта посредствомъ термометра. Въ этихъ случаяхъ теплота поглощается или становится Скрытой. Но наоборотъ, когда паръ сгущается въ жидкость, или жидкое тѣло принимаетъ твердую консистенцію, теплота опять отдается и становится замѣтной для термометра. Такимъ образомъ напр. для того, чтобы въ теплой комнатѣ фунтъ льда нагрѣлся до 7 градусовъ, требуется въ 20 разъ больше времени противъ того, во сколько нагрѣется до 7 градусовъ фунтъ воды холодной какъ ледъ. Чашка съ водой, поставленная на огонь, закипаетъ въ теченіе 4 минутъ, то есть, температура воды поднимается до 212 градусовъ

по Фаренгейту; и если затѣмъ постоянно подогрѣвать чашку въ теченіе 20 минутъ, то температура воды во все это время остается неизмѣнною, пока вся вода не выкипитъ. Блекъ изъ этихъ фактовъ заключилъ, что когда ледъ обращается въ воду, а вода въ паръ, то при этомъ поглощается большое количество теплоты. Изъ перваго опыта онъ заключалъ, что ледъ при своемъ таяніи поглощаетъ столько теплоты, что она могла бы нагрѣть воду до 140 градусовъ; а изъ втораго опыта,—что вода испаряясь поглощаетъ столько теплоты, что она могла бы нагрѣтьее до 940 град.

Что ледъ требуетъ для растаянія большаго количества теплоты; что вода для обращенія въ паръ требуетъ тоже большаго количества теплоты, и что эта теплота не обнаруживается повышеніемъ ртути въ термометрѣ, — все это факты, которые не трудно наблюдать и замѣтить. Но чтобы отдѣлить эти факты отъ всѣхъ постороннихъ обстоятельствъ, сгруппировать всѣ случаи вмѣстѣ и открыть общій законъ, который бы объединялъ ихъ,—для этого требовалась такая индуктивная работа мысли, которая считалась, и совершенно справедливо, однимъ изъ самыхъ поразительныхъ фактовъ въ новой исторіи физики. Заслуга большей части этого открытія принадлежитъ Блеку.

(2-е изд.) [Въ первомъ изданіи, говоря объ открытіи скрытой теплоты, я вмѣстѣ съ именемъ Блека упомянулъ также имена Де-Люка и Вилькс. Де-Люкъ въ 1755 г. замѣтилъ, что ледъ во время таянія не нагрѣвается выше точки замерзанія до тѣхъ поръ пока весь не растаетъ. Де-Люка обвиняли въ томъ, будто-бы онъ присвоилъ себѣ открытіе Блека; но это

обвиненіе, по моему мнѣнію, совершенно несправедливо. Въ своихъ «Idées sur la Methéorologique» (1787) онъ говоритъ, что Блекъ первый «сталъ дѣлать попытки опредѣлить количество скрытой теплоты». И когда Уаттъ замѣтилъ ему, что на основаніи этого выраженія можно подумать, будто Блекъ только дѣлалъ попытку, а не открылъ самаго факта, то онъ созналъ свою неточность и, въ прибавленіи къ своему сочиненію, исправилъ двусмысленное выраженіе *).

Блекъ никогда ничего не печаталъ о скрытой теплотѣ; но съ 1760 г. онъ ежегодно излагалъ на своихъ лекціяхъ ученіе о скрытой теплотѣ. Въ 1770 г. одинъ лондонскій книгопродавецъ безъ его дозволенія напечаталъ его лекціи, въ которыхъ изложены были существенные взгляды его. Въ 1772 г. Вильке читалъ въ Стокгольмской Академіи Наукъ записку, въ которой описано поглощеніе теплоты при таяніи льда; и въ томъ же самомъ году Де-Люкъ, изъ Женевы, публиковалъ свои «Recherches sur les modifications de l'atmosphère», въ которыхъ было изложено ученіе о скрытой теплотѣ, что онъ написалъ это, ничего не зная о работахъ Блека. Впослѣдствіи Де-Люкъ воспользовавшись отчасти выраженіемъ Блека, далъ поглощенной теплотѣ названіе скрытаго огня **).

Кажется, что Кавендишъ опредѣлилъ количество теплоты, происходящей при сгущеніи пара и при таяніи снѣга, еще въ 1765 г. Можетъ быть онъ уже слы-

*) См. Письмо его къ издателямъ «Edinb. Review», N XII, p. 502.

**) «Ed. Rev.» № IV, p. 20.



шалъ что-нибудь объ изслѣдованіяхъ Блека, но только не принималъ его термина «скрытая теплота»] *).

Слѣдствія принципа Блека о скрытой теплотѣ весьма важны; такъ какъ на немъ основывается все ученіе объ испареніи, и онъ, кромѣ того, имѣетъ еще другія примѣненія. Но отношенія между водяными парами и воздухомъ такъ важны и они такъ много изучались, что мы съ пользою можемъ остановиться на нихъ нѣсколько дольше. Часть науки, въ которой разсматриваются эти отношенія, можетъ быть названа, какъ мы уже сказали, Атмологіей. Этому отдѣлу Термотики и посвящены слѣдующія главы.

---

*) См. HARCOURT, «*Addressto the Brit. Assoc. in 1839*» и «*Appendix*».



АТМОЛОГІЯ.

ГЛАВА III.

Отношеніе между Парами и Воздухомъ.

§ 1. Законъ Бойля объ Упругости Воздуха.

Мы уже видѣли въ VI книгѣ (гл. IV, § 1), что законы жидкаго равновѣсія были примѣнены Паскалемъ и другими и къ воздуху. Но хотя воздухъ производитъ давленіе и претерпѣваетъ давленіе такъ же точно, какъ и вода, однако внѣшнее давленіе на воздухъ производитъ на него особенное дѣйствіе, какого оно не производитъ на воду, по крайней мѣрѣ въ замѣтной степени. Воздухъ, на который производится давленіе, сжимается и занимаетъ меньшій объемъ и слѣдовательно становится болѣе плотнымъ или сгущеннымъ. И наоборотъ, когда давленіе на извѣстную часть воздуха уменьшается, то эта часть расширяется, или разрѣжается. Эти общіе факты очевидны. Они

выражаются общимъ понятіемъ, когда говорятъ, что воздухъ есть жидкость эластическая или упругая, уступающая до извѣстной степени давленію и потомъ снова принимающая прежніе размѣры, когда давленіе прекратилось.

Но когда стали извѣстны эти истины, то самъ собою представлялся вопросъ: въ какой степени и по какому закону воздухъ уступаетъ давленію; и когда онъ сжимается, какое отношеніе находится между плотностью и давленіемъ? Употреблявшіяся уже въ наукѣ трубки съ заключеннымъ въ нихъ столбомъ ртути, которыми измѣрялось давленіе всей атмосферы, или части ея, представляли собою вѣрные способы для производства опытовъ, которыми можно было разрѣшить эти вопросы. Такіе опыты и произведены были Бойлемъ около 1650 г. и результатъ, къ которому онъ пришелъ, былъ тотъ, что когда воздухъ сжимается, то плотность или упругость его пропорціональна давленію. Такимъ образомъ, если давленіе атмосферы въ ея обыкновенномъ состояніи равно давленію столба въ 30 вершковъ ртути, какъ показываетъ барометръ, и если воздухъ, заключенный въ трубку, давитъ еще прибавочными 30 вершками ртути, то упругость его будетъ вдвое больше и онъ сожмется наполовину своего объема. Если давленіе увеличится въ три раза, то и упругость также увеличится втрое и т. д. Этотъ законъ впослѣдствіи (1776) былъ доказанъ Маріоттомъ посредствомъ опытовъ, и поэтому законъ упругости воздуха, выражающійся такъ: «упругость пропорціональна давленію», называется иногда закономъ Бойля, а иногда закономъ Бойля и Маріотта.

Воздухъ постоянно удерживаетъ свой воздухообразный характеръ; но есть другія воздухообразныя вещества, которыя иногда бываютъ воздухообразными, а затѣмъ переходятъ въ другія состоянія. Такія вещества называются парами; и открытіе ихъ отношенія къ воздуху было результатомъ длиннаго ряда изслѣдованій и соображеній.

(2-е изд.) [Каньяръ де-ла-Туръ нашелъ (въ 1823 г.), что при извѣстной температурѣ жидкость, находящаяся подъ достаточнымъ давленіемъ, становится прозрачнымъ паромъ или газомъ, занимающимъ такой же объемъ, какъ и жидкость. Это состояніе тѣлъ Фарадэй называетъ «состояніемъ Каньяра де-ла-Тура». Фарадэй открылъ также, что газъ угольной кислоты и многіе другіе газы, считавшіеся до сихъ поръ постоянными газами, можно посредствомъ давленія привести въ жидкое состояніе *), а въ 1835 г. Тилорье нашелъ средство обращать жидкую углекислоту въ твердую форму и привелъ въ твердое состояніе и нѣкоторые другіе газы: аммоній, окись азота и сѣрнистый водородъ **). Послѣ этихъ открытій мнѣ кажется позволительно предполагать, что, можетъ быть, вообще всѣ тѣла могутъ существовать въ трехъ консистенціяхъ, твердой, жидкой и воздухообразной.

Мы можемъ замѣтить здѣсь, что законъ Бойля и Маріотта не вполнѣ вѣренъ въ примѣненіи его къ тому состоянію газовъ, когда они переходятъ въ жидкость въ тѣхъ случаяхъ, о которыхъ мы говорили

*) «Phil. Trans.» 1823.
**) Ibid. pt. I. 1845.



выше. Въ этихъ состояніяхъ уменьшеніе объема газовъ уже не пропорціонально давленію, а совершается гораздо быстрѣе, чѣмъ увеличивается давленіе.

Переходъ жидкостей изъ жидкой консистенціи въ газообразную сопровождается еще другими любопытными явленіями. Смотри объ этомъ записку Форбеса «О цвѣтахъ паровъ при извѣстныхъ обстоятельствахъ» и «О цвѣтахъ атмосферы» въ «Edinb. Trans.» t. XIV.]

§ 2. Приготовленіе къ ученію Дальтона объ Испареніи.

Облака, дымъ, перегонка и другія подобныя явленія даютъ намъ понятіе о парахъ. Уже Баконъ считалъ паръ тожественнымъ съ воздухомъ *). И въ самомъ дѣлѣ легко было догадаться, что вслѣдствіе теплоты вода превращается въ паръ. Прежде думали, что въ инструментѣ, называемомъ эолипиломъ, въ которомъ производится сильное дутье посредствомъ кипящей воды, образуется такимъ образомъ настоящій воздухъ; но Вольфъ показалъ, что жидкость не превращается въ воздухъ, употребивъ для этого камфарный спиртъ и сгустивъ снова образовавшійся изъ него паръ. Намъ нѣтъ надобности исчислять здѣсь доктрины, если можно назвать такъ темныя и неопредѣленныя гипотезы Декарта, Дешаля и Борелли **). Послѣдній изъ нихъ думалъ объяснить происхожденіе пара предположеніемъ, что онъ есть смѣсь огня и воды; и такъ какъ огонь легче воздуха, то смѣсь вслѣд-

---

*) Баконъ, «*Hist. nat.*» Cent. I, p. 27.

**) Ихъ можно найти у Фишера, «*Geschichte der Physik*», t. II, p. 175.

ствіе этого и поднимается вверхъ. Бойль старался показать, что пары не всегда летаютъ въ пустотѣ, и сравнивалъ смѣсь пара съ водою съ растворомъ соли въ водѣ. Онъ же замѣтилъ тотъ важный фактъ, что давленіе атмосферы имѣетъ вліяніе на теплоту кипящей воды. Онъ доказалъ это посредствомъ воздушнаго насоса; и онъ самъ и друзья его были очень удивлены, когда увидали, что вода подъ колоколомъ воздушнаго насоса, если изъ него вытянуть воздухъ, сильно кипитъ при значительно меньшей температурѣ. Гюйгенсъ упоминаетъ о подобномъ же опытѣ, произведенномъ Папеномъ около 1673 г.

Улетаніе пара вверхъ объяснялось различно въ разныя времена, соотвѣтственно тѣмъ перемѣнамъ, какія производились въ физикѣ. Этотъ вопросъ сталъ опредѣленной проблемой въ то время, когда гидростатика объяснила уже многія явленія, и потому естественно возникли попытки привести и этотъ вопросъ къ гидростатическимъ принципамъ. Самая очевидная, сама собой представлявшаяся гипотеза, съ точки зрѣнія этихъ принциповъ, состояла въ томъ, что вода, обращаясь въ паръ, раздробляется на маленькіе пустые шарики, которые въ своихъ тоненькихъ стѣнкахъ заключаютъ воздухъ или теплоту. Такое объясненіе испаренія представилъ Галлей; Лейбницъ вычислилъ размѣры этихъ маленькихъ пузырьковъ, а Дергамъ хотѣлъ даже разсмотрѣть эти пузырки въ увеличительное стекло; Вольфъ также занимался изслѣдованіями и вычисленіями объ этомъ предметѣ. Странно, что ученые могли имѣть такое довѣріе къ такой слабой теоріи. Потому что если вода превращается въ пустые шарики,

чтобы подниматься въ видѣ пара, то для объясненія образованія этихъ шариковъ требовались новые законы природы, на которые однако не указывали составители этой теоріи и которые должны были быть гораздо запутаннѣе, чѣмъ гидростатическіе законы, производящіе плаваніе пустыхъ шаровъ.

Мнѣніе Ньютона было не болѣе удовлетворительно. Онъ объяснялъ *) испареніе отталкивательной силой теплоты; частички пара, по его мнѣнію, будучи очень малы, легко подчиняются дѣйствію этой силы и такимъ образомъ становятся легче воздуха.

Мушенброкъ придерживался теоріи шариковъ только для объясненія испаренія; но вообще былъ явно не доволенъ ею и справедливо думалъ, что давленіе воздуха уничтожило бы тонкую оболочку этихъ шариковъ. Затѣмъ для объясненія испаренія онъ предполагалъ вращеніе шариковъ, которое предполагалъ также и Декартъ. Но и это объясненіе не удовлетворило его, и потому онъ прибѣгъ наконецъ къ электрическому дѣйствію. Электричество въ то время пользовалось особеннымъ расположеніемъ ученыхъ, какъ прежде пользовалась имъ гидростатика, и потому естественно, что къ нему обращались во всѣхъ затруднительныхъ случаяхъ. Дезагюлье, напримѣръ, хотѣлъ объяснить подниманіе пара электричествомъ, и предполагалъ нѣчто въ родѣ половыхъ отношеній между теплотой, которая составляетъ мужской элементъ и исполняетъ одну часть дѣла при образованіи паровъ, электричество же играетъ женскую роль и довершаетъ остальную

*) «Opticks, Quaest.» 31.



часть образованія. Подобныя фантазіи не имѣли конечно ни значенія, ни пользы.

Между тѣмъ химія своимъ быстрымъ процессомъ обратила на себя вниманіе естествоиспытателей и принимала большое участіе въ объясненіи важнаго факта испаренія. Теорія Булье, который въ 1742 г. предполагалъ, что при испареніи частички воды помѣщаются въ промежутки между частичками воздуха, можетъ считаться приближеніемъ къ химической теоріи. Въ 1743 г. академія наукъ въ Бордо предложила на премію вопросъ: «объ улетаніи вверхъ паровъ»; и эта премія была присуждена съ полнымъ безпристрастіемъ двумъ противоположнымъ теоріямъ; половина ея дана была Краценштейну, который защищалъ шарики, толщина оболочки которыхъ составляла по его вычисленію 1/50000 часть вершка, а другая — Гамбергеру, который утверждалъ, что испареніе происходитъ отъ сцѣпленія водяныхъ частичекъ съ элементами воздуха и воды. Послѣднее воззрѣніе получило большую отчетливость въ умѣ его автора, когда онъ черезъ 7 лѣтъ послѣ (1750) издалъ свои «Elementa Physices». Здѣсь онъ объявилъ испареніе посредствомъ фразы «раствореніе воды въ воздухѣ», которая послѣ того стала общепринятой и подъ которой онъ разумѣлъ раствореніе, подобное всѣмъ прочимъ химическимъ растворамъ.

Эта теорія растворенія была защищаема и развиваема Леруа *). Въ его рукахъ эта теорія приняла форму, сохранившуюся почти до нашего времени и

*) «Mém. Acad. de Paris», 1750.



оставившую слѣды въ общеупотребительномъ языкѣ. Онъ предполагалъ, что воздухъ подобно другимъ растворяющимъ жидкостямъ можетъ быть насыщаемъ и что поэтому вода, находящаяся въ воздухѣ, уже насыщенномъ, можетъ принимать видимую и замѣтную форму. Насыщающее количество, какъ онъ предполагалъ, зависитъ только отъ теплоты и вѣтра.

Эта теорія имѣла свою цѣну, потому что она объединила многія явленія и объяснила много опытовъ, сдѣланныхъ Леруа. Такъ напр. она объясняла прозрачность пара (тѣмъ, что всѣ совершенные растворы прозрачны), превращеніе пара въ воду при охлажденіи, исчезаніе видимой водяной влажности при нагрѣваніи, увеличенное испареніе при дождѣ и вѣтрѣ и другія подобныя явленія. Въ этомъ отношеніи введеніе понятія о химическомъ раствореніи воды въ воздухѣ было повидимому удачно и успѣшно. Но это объясненіе имѣло фатальный недостатокъ; потому что оно никакимъ образомъ не могло объяснить тѣхъ фактовъ испаренія, которые совершаются въ безвоздушномъ пространствѣ.

Въ то же время въ Швеціи *) этотъ предметъ былъ разработываемъ другимъ болѣе точнымъ способомъ. Валлерій Эриксенъ различными опытами доказалъ тотъ важный фактъ, что вода испаряется и въ безвоздушномъ пространствѣ. Его опыты были ясны и удовлетворительны; изъ нихъ онъ смѣло заключилъ о ложности общепринятаго объясненія испаренія общепринятымъ раствореніемъ воды въ воздухѣ. Его до-

*) Fischer, «*Geschichte der Physik*», vol. V, p. 63.



казательства составлены весьма остроумно. Онъ задаетъ себѣ вопросъ: не можетъ ли вода превращаться въ воздухъ и не есть ли вся атмосфера, вслѣдствіе этого, собраніе паровъ? И на достаточныхъ основаніяхъ отвѣчаетъ на вопросъ отрицательно, и вслѣдствіе этого допускаетъ существованіе постоянно упругаго воздуха, отличнаго отъ паровъ. Затѣмъ онъ предполагаетъ, что должны дѣйствовать при испареніи двѣ причины,—одна, производящая первое поднятіе пара, и другая, поддерживающая паръ въ воздухѣ. Первая причина, дѣйствующая и въ пустомъ пространствѣ, есть, по его мнѣнію, взаимное отталкиваніе частичекъ, и такъ какъ эта отталкивающая сила не зависитъ отъ содѣйствія другихъ силъ, то его индуктивное заключеніе можно считать правильнымъ. Когда паръ уже поднялся въ воздухъ, то можно легко предположить, что онъ поднимается выше и движется изъ стороны въ сторону вслѣдствіе движенія атмосферы. Валлерій предполагалъ, что паръ поднимается вверхъ до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ слоя воздуха, имѣющаго такую же плотность, какъ онъ самъ; въ этомъ слоѣ онъ находится въ равновѣсіи и движется только изъ стороны въ сторону.

Слѣдующее поколѣніе физиковъ раздѣлилось между двумя враждебными теоріями испаренія, теоріей химическаго растворенія и самостоятельнаго испаренія. Соссюра можно считать предводителемъ одной стороны, а Де-Люка—другой. Первый держался теоріи растворенія съ нѣкоторыми его собственными видоизмѣненіями. Де-Люкъ же отвергалъ всякое раствореніе и считалъ паръ комбинаціей частичекъ воды съ огнемъ,

вслѣдствіе чего онѣ становятся легче воздуха. По его мнѣнію, теплоты вездѣ и всегда достаточно для того чтобы произошла такая комбинація; такъ что испареніе происходитъ при всякой температурѣ.

Это воззрѣніе, принимавшее самостоятельность пара, какъ комбинаціи огня съ водою обратило вниманіе державшихся его ученыхъ на термотическія перемѣны, происходящія въ то время, когда паръ образуется и потомъ опять сгущается. Эти перемѣны весьма важны и ихъ законы любопытны. Эти законы относятся къ ученію о скрытой теплотѣ, о которой мы уже говорили; но знаніе ихъ не необходимо для пониманія способа, какимъ образомъ пары могутъ существовать въ воздухѣ.

Воззрѣнія Де-Люка привели его также къ разсмотрѣнію того, какое дѣйствіе на паръ производитъ давленіе *). Тотъ фактъ, что давленіе сгущаетъ пары, онъ объясняетъ предположеніемъ, что отъ давленія частички пара приближаются на такое разстояніе, на которомъ уже перестаетъ дѣйствовать отталкиваніе, производимое огнемъ. Такимъ же образомъ онъ объясняетъ и тотъ фактъ, что хотя внѣшнее давленіе сгущаетъ паръ, однако смѣшеніе пара съ воздухомъ, также увеличивающее давленіе, не производитъ такого же сгущающаго дѣйствія; и такимъ образомъ паръ можетъ существовать въ атмосферѣ. Эти пары находятся въ воздухѣ въ неопредѣленномъ количествѣ; но при одной и той же температурѣ они производятъ

*) Ficher, ibid. VII, 453. «Nouvelles idées sur la Météorologie», 1797.



одинаковое давленіе, находятся ли они въ воздухѣ, или нѣтъ. По мѣрѣ того, какъ возвышается теплота, паръ становится способнымъ выносить все большее и большее давленіе, и при температурѣ кипѣнія воды паръ можетъ выносить давленіе атмосферы.

Такимъ образомъ Де-Люкъ весьма рѣзко обозначилъ (какъ сдѣлалъ и Валлерій) различіе между паромъ и воздухомъ, состоящее въ томъ, что паръ вслѣдствіе холода или давленія можетъ измѣняться въ своей консистенціи и переходить въ жидкость, а воздухъ не можетъ. Пикте въ 1786 г. сдѣлалъ гигрометрическій опытъ который, по его мнѣнію, подтверждалъ воззрѣнія Де-Люка; а въ 1792 г. самъ Де-Люкъ напечаталъ свой заключительпый трактатъ объ этомъ предметѣ въ «Philosophical Transactions». «Опытъ объ огнѣ» (1791) Пикте доказалъ, что всѣ гигрометрическія явленія происходятъ и въ пустотѣ точно такъ же, какъ и въ воздухѣ, только гораздо быстрѣе, если только есть одинаковое количество влажности. Этотъ трактатъ и вышеупомянутый трактатъ Де-Люка нанесли смертный ударъ теоріи растворенія воды въ воздухѣ при испареніи.

Однако эта теорія пала только послѣ упорной борьбы. Ее стала защищать новая школа французскихъ химиковъ и связала ее съ своими воззрѣніями о теплотѣ. Вслѣдствіе этого она долго считалась господствующею теоріею. Гиртанеръ *) въ своихъ «Основаніяхъ антифлогистической теоріи» изложилъ подробно свои воззрѣнія объ этомъ предметѣ съ точки зрѣнія

*) Fischer, «*Gesch. Phys.*» VII, 473.



растворенія. Губе, изъ Варшавы, былъ однимъ изъ ревностнѣйшихъ защитниковъ теоріи растворенія и издалъ объ ней нѣсколько статей около 1790 г. Однако онъ самъ нѣсколько затруднялся увеличеніемъ упругости воздуха вслѣдствіе паровъ. Парротъ въ 1801 г. предложилъ другую теорію, и утверждалъ, что Де-Люкъ не вполнѣ разрѣшилъ теорію растворенія, а только опровергъ излишнія прибавленія къ ней Соссюра.

Трудно понять, что препятствовало ученію о самостоятельномъ парѣ сдѣлаться общепринятымъ; такъ какъ оно весьма просто объясняло всѣ факты и показывало, что дѣйствіе воздуха при образованіи паровъ совершенно излишне. Однако ученіе о растворенія воды въ воздухѣ не погибло окончательно. Гей-Люссакъ *) въ 1800 г. говорилъ еще о количествѣ воды, «находящейся въ растворѣ» въ воздухѣ, которое, какъ онъ говоритъ, измѣняется, смотря по его температурѣ и плотности, по закону, который еще до сихъ поръ не открытъ. Робизонъ въ статьѣ «Паръ» въ «Encyclopaedia Britannica», напечатанной около 1800 г., говоритъ: «многіе естествоиспытатели воображаютъ, что этимъ же путемъ (т. е. вслѣдствіе одной эластичности) происходитъ самостоятельное и свободное испареніе даже при низкой температурѣ. Но мы не можемъ принять этого мнѣнія и должны думать, что этотъ родъ испаренія происходитъ отъ растворяющей способности воздуха». Затѣмъ онъ приводитъ нѣкоторыя основанія въ пользу этого мнѣнія. «Когда влажный воздухъ внезапно разрѣженъ, то всегда бываетъ осаж-

*) «Ann. Chim.», XLIII.



деніе воды; но по этому новому ученію должно было бы случиться совершенно противное. Потому что стремленіе воды принимать эластическую форму усиливается при устраненіи внѣшняго давленія». Другое возраженіе противъ ученія о простомъ смѣшеніи пара съ воздухомъ онъ видитъ въ томъ, что еслибы они были смѣшаны подобнымъ образомъ, то болѣе тяжелая жидкость заняла бы низшую часть, а болѣе легкая высшую часть занимаемаго ими пространства.

Первое изъ этихъ возраженій опровергается тѣмъ соображеніемъ, что при разрѣженіи воздуха измѣняется его специфическая теплота и такимъ образомъ температура опускается ниже температуры, необходимой для существованія пара, который содержался въ этомъ воздухѣ. На второе же возраженіе можно отвѣтить только зная законъ Дальтона о смѣшеніи газовъ. Мы разсмотримъ открытіе и установленіе этого закона въ слѣдующемъ параграфѣ, такъ какъ этотъ законъ составляетъ существенный шагъ къ вѣрному пониманію испаренія.

§ 3. Ученіе Дальтона объ Испареніи.

Часть того, что можно назвать вѣрнымъ понятіемъ объ испареніи, было уже въ большей или меньшей степени извѣстно многимъ изъ физиковъ, о которыхъ мы говорили. Они знали, что паръ, который существуетъ въ воздухѣ въ невидимомъ состояніи, можетъ отъ холода сгуститься и обратиться въ воду. Они также замѣтили, что при всякомъ состояніи атмосферы возможна извѣстная температура ниже температуры атмосферы и что если тѣло, имѣющее эту

низшую температуру внести въ атмосферу, то его поверхность покрывается водой въ видѣ тонкихъ маленькихъ капель, подобныхъ росѣ; эта температура поэтому и называлась точкою росы. Водяной паръ, гдѣ бы онъ ни былъ, можетъ быть доведенъ до температуры, низшей той, какая необходима для удержанія его въ видѣ пара, и потому онъ перестаетъ быть паромъ. Эта послѣдняя температура названа была составляющею, или конституирующею. Все это въ общихъ чертахъ было извѣстно метеорологамъ прошлаго столѣтія; и въ Англіи на этотъ предметъ обращено было вниманіе главнымъ образомъ вслѣдствіе сочиненія Уэлля «Essay on Dew» (Опытъ о росѣ) 1814 г. Въ этомъ сочиненіи онъ удовлетворительно объясняетъ, какимъ образомъ холодъ, происходящій отъ разрѣженія воздуха, понижая конституирующую температуру содержащагося въ немъ пара, обращаетъ его въ росу; этимъ, какъ мы уже сказали, и опровергалось возраженіе противъ теоріи самостоятельнаго пара.

Другое возраженіе было вполнѣ опровергнуто Дальтономъ. Когда онъ обратилъ вниманіе на испареніе, то ему сразу представились непреодолимыя трудности, какія возникали для теоріи химическаго растворенія воды въ воздухѣ. Оказалось, что дѣйствительно эта теорія была только номинальнымъ объясненіемъ явленій; потому что при точномъ изслѣдованіи оно не имѣло аналогіи ни съ какими химическими явленіями. Послѣ нѣсколькихъ соображеній и вслѣдствіе другихъ обобщеній относительно газовъ, онъ пришелъ къ убѣжденію, что когда воздухъ и паръ смѣшиваются вмѣстѣ, то каждый изъ нихъ слѣдуетъ особымъ законамъ

равновѣсія, и что частички каждаго изъ нихъ упруги только относительно другихъ частичекъ своего рода; такъ что летаніе пара между частичками воздуха можно представлять себѣ «подобнымъ теченію воды между утесами» *); и сопротивленіе, которое оказываетъ воздухъ испаренію, зависитъ не отъ тяжести воздуха, или его давленія, а отъ инерціи его частичекъ.

Такимъ образомъ можно было сказать, что теорія самостоятельнаго пара, представляемая въ такомъ видѣ, объединяетъ всѣ относящіяся сюда явленія; именно постепенное испареніе въ воздухѣ, мгновенное испареніе въ пустотѣ, увеличеніе упругости воздуха отъ примѣси къ нему паровъ, сгущеніе его различными причинами и подобныя явленія.

Но Дальтонъ сдѣлалъ еще опытъ для доказательства своего основнаго принципа, что если два различные газа находятся въ сообщеніи между собою, то они взаимно переливаются одинъ въ другой и это переливаніе, или такъ-называемая диффузія, совершается очень медленно, когда отверстіе сообщенія мало **). Онъ замѣтилъ также, что всѣ газы имѣютъ одинаковую способность растворять паръ, чего конечно не было бы, еслибы растворение было химическое и опредѣлялось химическими свойствами. Плотность воздуха не имѣетъ вліянія на диффузію.

Принимая въ соображеніе всѣ эти обстоятельства, Дальтонъ бросилъ идею растворенія воды въ воздухѣ.

---

*) «Manch. Mem.» vol. V, p. 581. «New System of Chem. Philosophy», vol. I, p. 151.

**) «New system of Chemical philosophy», vol. I, p. 151.



«Осенью 1801 г.—говоритъ онъ—мнѣ пришла мысль, которая, казалось мнѣ, можетъ объяснить всѣ явленія пара; эта мысль повела меня ко множеству различныхъ опытовъ, результаты которыхъ убѣдили меня, что моя теорія вѣрна. Но, прибавляетъ онъ, эта теорія была всѣми ложно понимаема, и потому отвергаема».

Дальтонъ съумѣлъ отвѣчать на всѣ возраженія противъ его теоріи. Бертоллетъ возражалъ ему, что мы не можемъ себѣ представить соединенія частичекъ различныхъ эластическихъ веществъ безъ увеличенія ихъ упругости. На это Дальтонъ отвѣчалъ указаніемъ на примѣръ магнитовъ, которые притягиваютъ другъ друга, но не притягиваютъ другихъ тѣлъ. Однимъ изъ самыхъ любопытныхъ и остроумныхъ возраженій было возраженіе Гуфа (Gough), который говоритъ, что если бы каждый газъ быть упругъ только относительно самого себя, то вмѣсто одного звука, произведеннаго звучащимъ тѣломъ, мы слышали бы четыре звука, именно первый, проходящій черезъ водяные пары, второй, проходящій черезъ азотъ, третій—черезъ кислородъ и четвертый—черезъ угольную кислоту. Дальтонъ отвѣчалъ на это, что разница въ скоростяхъ прохожденія этихъ звуковъ весьма мала, такъ что мы ее не замѣчаемъ, и что въ самомъ дѣлѣ мы иногда слышимъ двойной и тройной звукъ.

Въ своей «Новой системѣ химической философіи» Дальтонъ разбираетъ возраженія своихъ противниковъ очень добросовѣстно и безпристрастно. Здѣсь онъ обнаруживаетъ замѣтное расположеніе оставить ту часть теоріи, которая отрицаетъ взаимное отталкиваніе частичекъ двухъ газовъ, и склоняется къ тому, чтобы



переливаніе ихъ одного въ другой объяснять величиною ихъ частичекъ, что по его мнѣнію можетъ произвести такое же дѣйствіе *). Приступая къ выбору дѣйствительно цѣнной и имѣвшей постоянное значеніе части этой теоріи, мы должны стараться устранить изъ нея все сомнительное или недоказанное. Я думаю, что во всѣхъ разсмотрѣнныхъ доселѣ теоріяхъ всякому покажутся ненадежными и излишними всѣ мнѣнія и предположенія о свойствахъ частичекъ тѣлъ, ихъ величинѣ, разстояніяхъ, притяженіяхъ и т. п. Отбросивъ въ сторону всѣ такія гипотезы, мы получаемъ слѣдующія основательныя индукціи: что два газа, находящіеся въ сообщеніи, вслѣдствіе упругости каждаго изъ нихъ переливаются одинъ въ другой болѣе или менѣе медленно или скоро; что количество пара, заключающееся въ извѣстномъ пространствѣ воздуха, остается одинаковымъ, каковъ бы онъ ни былъ, какова бы ни была его плотность и даже еслибы вмѣсто воздуха была пустота. Эти положенія можно соединить вмѣстѣ сказавъ, что одинъ газъ смѣшивается съ другимъ только механически; и мы вполнѣ должны согласиться съ Дальтономъ, который говоритъ о послѣднемъ фактѣ, «что онъ есть настоящій пробный камень механическихъ и химическихъ теорій». Это ученіе о механической смѣси газовъ служитъ отвѣтомъ на всѣ возраженія, представленныя Бертоллетомъ и другими, какъ показалъ уже Дальтонъ **); и мы можемъ поэтому считать его вполнѣ доказаннымъ.

---

*) «New System», vol. I p. 188.

**) «New System», vol. I, p. 160 et caet.

Это ученіе вмѣстѣ съ принципомъ о конституирующей температурѣ пара приложимо къ цѣлому ряду метеорологическихъ и другихъ явленій. Но прежде чѣмъ говорить о сдѣланныхъ примѣненіяхъ теоріи къ естественнымъ явленіямъ, мы считаемъ нужнымъ сказать еще нѣсколько словъ объ обширныхъ изслѣдованіяхъ, которыя вызваны были употребленіемъ пара въ промышленности. Я разумѣю изслѣдованія законовъ связи упругой силы пара съ конституирующей температурой.

§ 4. Опредѣленіе законовъ Упругой Силы Пара.

Расширеніе водяныхъ паровъ при различныхъ температурахъ, подобно расширенію всѣхъ другихъ паровъ, совершается по упомянутому выше закону Дальтона и Гей-Люссака, а эластичность пара, когда есть препятствіе его расширенію, можетъ быть опредѣлена по закону Бойля и Маріотта, по которому упругость воздухообразныхъ жидкостей пропорціональна давленію или сжатію ихъ. Но нужно замѣтить, что подобныя опредѣленія дѣлаются при томъ предположеніи, что паръ отдѣленъ отъ прикосновенія съ водой, такъ что уже болѣе не можетъ отдѣляться новыхъ паровъ,— случай очень отличный отъ того обыкновеннаго случая, когда количество паровъ становится все больше по мѣрѣ того, какъ возвышается температура. Поэтому мы здѣсь скажемъ кратко объ изслѣдованіяхъ о силѣ пара, когда онъ находится въ соприкосновеніи съ водой.

Въ теченіе этого періода, о которомъ мы говорили, прогрессъ въ изслѣдованіи законовъ водянаго пара

особенно ускорился вслѣдствіе того важнаго значенія, какое получили паровыя машины, посредствомъ которыхъ эти законы прилагались къ практикѣ. Джемсъ Уаттъ, сдѣлавшій важныя улучшенія въ этихъ машинахъ, былъ такимъ образомъ великимъ дѣятелемъ, обогатившимъ какъ наши теоретическія знанія, такъ и наши практическія средства и силы. Многія изъ его улучшеній зависѣли отъ законовъ, опредѣляющихъ количество теплоты при образованіи и сгущеніи паровъ, и наблюденія, которыя повели его къ этимъ улучшеніямъ, относятся къ ученію о скрытой теплотѣ. Съ цѣлью улучшенія машинъ, сдѣланы были измѣренія силы пара при всякой температурѣ. Вниманіе Уатта, который былъ въ то время студентомъ глазовскаго университета, было обращено на паровыя машины въ 1759 г. вслѣдствіе вопроса и указаній Робизона, занимавшагося приготовленіемъ различныхъ инструментовъ *). Въ 1761 или въ 1762 г. Уаттъ произвелъ нѣсколько опытовъ надъ силою пара въ Папеновомъ котлѣ **); и тогда же устроилъ родъ модели паровой машины, чувствуя уже въ себѣ призваніе къ развитію

---

*) См. Сочиненія Робизона, т. II, p. 113.

**) Денисъ Папенъ, сдѣлавшій самостоятельно нѣсколько опытовъ Бойля, сдѣлалъ открытіе, что если пару не давать выходить изъ сосуда, гдѣ онъ образуется, то температура воды поднимается выше точки кипѣнія. На основаніи этого открытія онъ сдѣлалъ инструментъ, называемый котломъ, или разварителемъ Папена. Этотъ инструментъ описанъ въ его сочиненіи «La manière d'amollir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes en fort peu de temps et a peu de frais». Парижъ 1682.



этой силы пара. Свои познанія о парѣ онъ заимствовалъ въ то время главнымъ образомъ отъ Дезагюлье и Белидора и быстро расширилъ ихъ своими собственными опытами. Въ 1764 и 1765 гг. онъ дѣлалъ болѣе систематическіе опыты съ цѣлью опредѣлить силу пара. Онъ изслѣдовалъ эту силу только при температурѣ выше точки кипѣнія, а при низшей температурѣ опредѣлялъ ее по закону, полученному для высшихъ температуръ, воображая, что этотъ законъ примѣняется одинаково ко всякой температурѣ. Его другъ Робизонъ, прочитавъ отчетъ о нѣкоторыхъ опытахъ Кавендиша и Нерна, самъ занялся подобными же изслѣдованіями. Онъ составилъ таблицу упругости пара при разныхъ температурахъ отъ 32 до 280 градусовъ Фаренгейта или отъ 0 до 110 по Реомюру *). Особенно важный пунктъ, который нужно было опредѣлить, это—упругость пара ниже точки замерзанія. Циглеръ въ Базелѣ въ 1769 г. и Ахардъ въ Берлинѣ въ 1789 г. дѣлали опыты съ этою цѣлью. Послѣдній изъ нихъ опредѣлялъ также эластичность паровъ алкоголя. Бетанкуръ въ 1792 г. напечаталъ свой мемуаръ объ упругой силѣ паровъ и его таблицы нѣкоторое время считались самыми точными. Прони въ своей «Architecture Hydraulique» (1796) составилъ математическую формулу **), на основаніи опытовъ Бетанкура, который начиналъ свои изслѣдованія въ пол-

*) Эти таблицы были впослѣдствіи напечатаны въ «Encyclopaedia Britannica» въ статьѣ «Паръ», написанной Робизономъ.

**) «Arch. Hydr.» Sec. Par. p 163.

ной увѣренности, что онъ первый выступаетъ на это поприще, хотя впослѣдствіи узналъ, что его уже предупредилъ Циглеръ. Гренъ сравнилъ опыты Бетанкура и Де Люка съ своими собственными и открылъ тотъ важный фактъ, что при кипѣніи воды упругость пара равна упругости атмосферы. Шмидтъ въ Гиссенѣ старался усовершенствовать аппаратъ, употреблявшійся Бетанкуромъ; а Бикеръ въ Ротердамѣ сдѣлалъ новыя попытки съ такою же цѣлью.

Въ 1801 г. Дальтонъ сообщилъ Ученому Обществу въ Манчестерѣ свои изслѣдованія объ этомъ предметѣ, замѣтивши при этомъ совершенно справедливо, что хотя опредѣленіе силы пара при высокихъ температурахъ и болѣе важно, если имѣется въ виду механическая сила пара; однако для теоретическаго прогресса нашихъ знаній гораздо нужнѣе точное опредѣленіе силы пара при низкой температурѣ. Онъ нашелъ, что ряды упругой силы пара для одинаково отстоящихъ температуръ составляютъ геометрическую прогрессію, отношеніе которой однако постоянно уменьшается. Уре въ 1818 г. напечаталъ въ «Philosophical Transactions» въ Лондонѣ опыты этого же рода, замѣчательные по высокимъ температурамъ, при которыхъ они производились и по простотѣ аппаратовъ. Законъ, полученный такимъ образомъ, подобно закону Дальтона приближался къ геометрической прогрессіи. Уре говоритъ, что формула, предложенная Біо, даетъ ошибку почти въ 9 вершковъ на 75 при температурѣ 266 градусовъ. И это очень понятно, потому что если сама формула ошибочна, то геометрическая прогрессія быстро увеличиваетъ ошибку на высокихъ температурахъ.

Изслѣдованіями объ упругости пара при высокихъ температурахъ занимались также Соутернъ въ Сого и Шарпъ въ Манчестерѣ. Дальтонъ пытался вывести какіе-нибудь общіе законы изъ опытовъ Шарпа. И другіе ученые предлагали различныя другія правила для опредѣленія силы пара при различныхъ температурахъ. Но всѣ эти правила, еще не имѣютъ характера прочно установившейся научной истины *). Между тѣмъ зна-

*) Какъ видно изъ изложенныхъ въ текстѣ законовъ, объемъ каждаго газа расширяется отъ теплоты равномѣрно; напр. если принять за единицу объема тотъ объемъ, который имѣетъ газъ при температурѣ 0 по стоградусному термометру, и при нормальной барометрической высотѣ въ 20 парижскихъ дюймовъ; то при температурѣ 100 градусовъ объемъ его равенъ $1^3/_8 = 1.375$. Если такимъ образомъ v обозначитъ объемъ газа при 0 градусовъ и при барометрической высотѣ въ 28 париж. дюймовъ, то его объемъ v' при температурѣ t и при барометрической высотѣ b будетъ равенъ

$$v' = \frac{28}{b}(1+0.00375t).$$

и это же самое уравненіе имѣетъ силу и тогда, если мы чрезъ r и v' обозначимъ силу упругости этого газа при двухъ указанныхъ условіяхъ.

Совершенно иное бываетъ съ парами, напр. съ водянымъ паромъ, который развивается при всякой температурѣ воды, даже ниже точки замерзанія ея и плотность и упругость котораго зависятъ только отъ температуры и не могутъ быть увеличины вслѣдствіе сжатія или уменьшенія объема, какъ это бываетъ съ газами. Такимъ образомъ если напр. водяной паръ сжать въ меньшее пространство, то часть пара переходитъ въ капельную воду, а оставшаяся часть его удерживаетъ свою прежнюю плотность и прежнюю упругость; такъ что поэтому эта упру-

ніе законовъ упругой силы пара важно не только для усовершенствованія и лучшаго употребленія паровыхъ машинъ, но еще и потому, что они представляютъ со-

---

гость для этой данной температуры составляетъ maximum. Но этотъ maximum плотности и упругости возрастаетъ вмѣстѣ съ температурой. — Если нагрѣвать пары, не находящіеся въ соприкосновеніи съ водою, то они расширяются такъ же какъ расширяются газы, именно на каждый градусъ стоградуснаго термометра на 0.00375 ихъ объема, какой они имѣли при 0 градусовъ, и точно такъ же увеличивается и ихъ упругость; если же ихъ охлаждать, то они сжимаются пока ихъ упругость не достигнетъ опять maximum, соотвѣтствующаго этой пониженной температурѣ.—Тѣ же пары, которые находятся въ прикосновеніи съ водою, при охлажденіи, дѣйствуютъ точно такъ же какъ и въ предъидущемъ случаѣ, но при нагрѣваніи иначе; именно не только уже существующіе пары получаютъ большую упругость, но еще образуются новые пары и притомъ до тѣхъ поръ, пока не образуется maximum упругой силы. При этомъ maximum пары слѣдуютъ уже указанному выше закону Маріотта; именно тогда упругость или плотность пара пропорціональна его давленію. Слѣдующая таблица указываетъ этотъ maximum упругости и плотности паровъ; она составлена на основаніи опытовъ Дальтона и по формулѣ Біо. Первый столбецъ показываетъ температуру по стоградусному термометру, а послѣдній указываетъ плотность водянаго пара, если принять за единицу плотность воды при 0 градусовъ; наконецъ упругость пара обозначена въ миллиметрахъ.

Температура.	Упругость.	Плотность.	Температура.	Упругость.	Плотность.
—20°	1.33	0.0000015	0°	5.06	0.0000054
—15	1.88	21	5	6.95	73
—10	2.63	29	10	9.47	97
— 5	3.66	40	15	12.84	130

бою существенный пунктъ при составленіи термотической теоріи.

(2-е изд.) [Къ опытамъ надъ паромъ, сдѣланнымъ

Температура.	Упругость.	Плотность.	Температура.	Упругость.	Плотность.
20°	17.31	0.0000172	65°	182.71	0.0001567
25	23.09	225	70	229.07	1935
30	30.64	294	75	285.07	2379
35	40.40	381	80	352.08	2869
40	53.00	492	85	431.71	3492
45	68.75	627	90	525.28	4189
50	88.74	797	95	634.27	4989
55	113.71	1005	100	760.00	5859
60	144.66	0.0001260			

Послѣднее число 760 миллиметровъ, или 0.77 метра (равное средней барометрической высотѣ на морѣ) соотвѣтствуетъ давленію почти одного килограмма на поверхность квадратнаго сентиметра. Это давленіе равное среднему давленію нашей атмосферы называютъ атмосферой; а давленіе въ два раза большее называютъ двумя атмосферами и т. д. Такимъ образомъ, если выразить упругость паровъ въ атмосферахъ, то къ прежней таблицѣ составится такое продолженіе:

Температура	100°	125°	150°	175°	200°	225°	250°
Упругость паровъ, выраж. въ атмосферахъ	1	2.28	4.61	8.56	15.02	24.38	36.27

и т. д.

Приведенныя таблицы имѣютъ значеніе только для водяныхъ паровъ. Пары же другихъ тѣлъ дѣйствуютъ иначе; напр. пары сѣрной кислоты при 10 градусахъ не имѣютъ еще и пятой части упругости, какую имѣютъ при этой температурѣ водяные пары.

Для различныхъ газовъ составлена слѣдующая таблица плотности и упругости ихъ сравнительно съ атмосфернымъ воздухомъ:

частными физиками, были прибавлены еще опыты, въ большихъ размѣрахъ сдѣланые по повелѣнію Французскаго и Американскаго правительства, съ цѣлію опредѣленія законодательныхъ мѣръ относительно паровыхъ машинъ. Французскіе опыты были произведены въ 1823 г. подъ руководствомъ коммиссіи, состоявшей изъ извѣстнѣйшихъ членовъ Академіи наукъ, именно изъ Прони, Араго, Жирара и Дюлона; Американскіе же опыты производились въ 1830 г. коммиссіею Франклиновскаго Института въ штатѣ Пенсильваніи, состоявшею изъ Беча и другихъ. При французскихъ опытахъ температура доводилась до 435 град. по Фаренгейтову термометру, причемъ упругость пара соотвѣтствовала давленію 60 футовъ ртути или 24 атмосферамъ. Американскіе же опыты производились до температуры въ 346 градусовъ, при которыхъ упругость соотвѣтствовала давленію 274 вершка ртути, или болѣе чѣмъ 9 атмосферамъ. Обширность этихъ опытовъ представляла особенныя выгоды для опредѣленія закона упругой силы. Французская Академія изъ своихъ опытовъ

Газы.	Плотность.	Упругость.
Атмосферный воздухъ . . .	1.000	1.000
Кислородъ	1.026	0.257
Азотъ	0.976	1.024
Водородъ	0.073	1.366
Углекислота	1.520	0.658
Аммiакъ	0.597	1.676
Газъ соляной кислоты . . .	1.247	0.802
Хлоръ	2.476	0.404

гдѣ одними и тѣми же цифрами выражены плотность и вмѣстѣ съ тѣмъ вѣсъ этихъ газовъ. (Пр. Литтрова.)

нашла, что упругость пара увеличивается по 5-й степени бинома $1+mt$, гдѣ t означаетъ температуру. Американскій же Институтъ пришелъ къ 6 степени подобнаго бинома. Другіе экспериментаторы выражали свои результаты не величинами температуры, а геометрическими пропорціями. Дальтонъ предположилъ, что если расширеніе ртути принять пропорціональнымъ квадрату истинной температуры, то расширительная сила или упругость пара возрастаетъ въ геометрической прогрессіи для равныхъ увеличеній температуры. Авторъ статьи «Паръ» въ 7 изданіи «Encyclopaedia Britannica» (Россель) нашелъ, что всего лучше соотвѣтствуетъ опыту предположеніе, что какъ ртуть, такъ и паръ расширяются въ геометрической прогрессіи при равныхъ увеличеніяхъ температуры. Изъ такихъ вычисленій оказывается, что сухой паръ, не прикасающійся къ водѣ, при увеличеніи температуры отъ точки замерзанія до точки кипѣнія увеличивается въ своей упругости въ отношеніи какъ 8 къ 11; между тѣмъ какъ упругость пара, находящагося въ соприкосновеніи съ водою, при такомъ же увеличеніи температуры выше кипящей воды, увеличивается въ пропорціи какъ 1 къ 12. При равномъ этомъ увеличеніи температуры ртуть расширяется въ пропорціи почти какъ 8 къ 9.

Въ недавнее время производили цѣлый рядъ наблюденій надъ упругостью пара при различныхъ температурахъ Магнусъ въ Берлинѣ, Гольцманнъ и Реньо *).

*) См. Тайлора, «*Scientific memoirs*», Aug. 1845, vol. IV, part XIV, и «Ann. de Chimie».

Магнусъ измѣрялъ температуру при своихъ опытахъ воздушнымъ термометромъ, — способъ, который, какъ я сказалъ въ первомъ изданіи, всего лучше можетъ упростить для нась законъ упругости. Полученный имъ результатъ состоитъ въ томъ, что упругость возрастаетъ въ геометрической прогрессіи, когда температура увеличивается въ ариѳметической; но при высшихъ температурахъ разница между температурами необходимыми для одинаковаго увеличенія упругости нѣсколько больше.

Сила, которую имѣютъ пары разныхъ другихъ веществъ, находящихся въ прикосновеніи съ жидкостями и которую опредѣлялъ Фарадэй, какъ упомянуто во II главѣ, § 1, аналогична съ упругостью пара, о которой говорится здѣсь].

(3-е изд.). *Сила пара.*—Опыты французской Академіи надъ упругостью пара по своей обширности въ состояніи рѣшить вопросъ о томъ, какая изъ предложенныхъ формулъ для выраженія возрастанія упругости вѣрнѣе. Рѣшеніе этого вопроса весьма важно, потому что при низшихъ температурахъ различныя формулы даютъ величины, почти незамѣтно различныя, между тѣмъ какъ при высокихъ температурахъ разница между ними принимаетъ большіе размѣры. Ватерстонъ *) свелъ къ одной формулѣ всѣ опыты надъ упругостью пара слѣдующимъ образомъ: нулемъ (0) или исходной точкой упругости газообразныхъ веществъ, опредѣленной другими экспериментаторами (Рудберъ, Магнусъ и Реньо), онъ бралъ 461° ниже 0 Фаренг., или 274°

*) «Phil. Trans.», 1852.



ниже 0 по стоградусному термометру; и температуры, отчитаемыя отъ этого 0, называлъ «G температуръ.» Квадратный корень изъ G температуръ есть элементъ, къ которому должно приводить упругую силу пара (по извѣстнымъ теоретическимъ основаніямъ); и было найдено, что плотность водянаго пара увеличивается пропорціонально 6 степени этого элемента. Доказательства этого способа вполнѣ согласны съ его результатами. Онъ же нашелъ, что подобное правило примѣнимо и ко многимъ другимъ парамъ, находящимся въ прикосновеніи съ ихъ жидкостями.

Но Реньо занялся недавно болѣе полными и обширными изслѣдованіями объ этомъ предметѣ, и получилъ результаты нѣсколько различные *). Онъ пришелъ къ заключенію, что ни одна формула выраженія, основывающаяся на силѣ температуръ, не выражаетъ точно показаній опыта. Онъ нашелъ, что правило Дальтона, по которому, когда температура увеличивается въ ариѳметической прогрессіи, то упругость пара возрастаетъ въ геометрической, не согласна съ наблюденіями при высокихъ температурахъ. Выраженіе Дальтона было бы вѣрно, еслибы сказать, что элементъ, отъ котораго зависитъ увеличеніе упругости пара, есть a^t гдѣ t означаетъ температуру. Затѣмъ Реньо пробовалъ употреблять формулу, предложенную Біо и состоящую изъ суммы двухъ членовъ, изъ которыхъ одинъ увеличивается какъ a^t, а другой какъ b^t; и этимъ способомъ могъ довольно удовлетворительно

*) «Mem. de l'Instit.» vol. XXI (1847), гдѣ мемуаръ Реньо занимаетъ 767 страницъ.



выражать результаты опытовъ. Но этотъ способъ есть только формула интерполяціи и не имѣетъ никакого теоретическаго основанія. Рошъ предложилъ формулу, по которой сила пара увеличивается какъ a^s, и s опредѣляется температурою посредствомъ уравненія ($s = \frac{t}{1+mt}$), до котораго онъ дошелъ теоретическими соображеніями. Эта формула гораздо лучше согласуется съ наблюденіями, чѣмъ всѣ другія, въ которыхъ находится то же число коэффиціентовъ.

Между опытными термотическими законами, на которыхъ основывается Реньо, занимаетъ мѣсто Законъ Уатта *), что количество теплоты нужное для того, чтобы обратить пинту воды отъ 0 температуры въ пары, всегда одинаково, каково бы ни было давленіе; также Законъ Соутерна, что скрытая теплота испаренія, т. е. теплота, поглощаемая при переходѣ изъ жидкаго въ газообразное состояніе, постоянна для всѣхъ случаевъ, и что мы получимъ полное количество теплоты, когда къ постоянной скрытой теплотѣ прибавимъ число, которое выражаетъ скрытую теплоту пара. Соутернъ нашелъ, что скрытая теплота пара воды составляетъ около 950 град. по Фаренгейту **).

§ 5. Слѣдствія ученія объ Испареніи.—Объясненіе Дождя, Росы и Облаковъ.

Открытія, касавшіяся отношеній между теплотой и влажностью, сдѣланы были въ прошломъ столѣтіи

*) Ibid. p. 160.

**) См. Робисона, «*Mechanical Philosophy*», vol. II, p. 8.



главнымъ образомъ при метеорологическихъ изысканіяхъ и тотчасъ же были приложены къ метеорологіи. Однако относительно многихъ пунктовъ этого предмета оставалось еще столько сомнѣній и неразъясненныхъ сторонъ, что мы не можемъ считать ученія объ этомъ предметѣ окончательно установившимся и поэтому намъ не придется говорить здѣсь о прогрессѣ и обобщеніи этихъ ученій. Принципы Атмологіи установлены и поняты очень удовлетворительно; но трудность наблюденія условій, при которыхъ они производятъ свое дѣйствіе въ атмосферѣ, такъ велика, что мы еще и до сихъ поръ неимѣемъ точной теоріи многихъ метеорологическихъ явленій.

Мы уже видѣли отвѣты, представленные на вопросъ: по какимъ законамъ прозрачный и невидимый паръ снова возвращается въ свое прежнее состояніе видимой воды? Этотъ вопросъ заключаетъ въ себѣ не только проблему дождя и росы, но и облаковъ; потому что облака собственно не пары, а уже вода, такъ какъ настоящіе пары всегда не видимы. Въ свое время обратило на себя много вниманія мнѣніе Гюттона, который въ 1784 г. старался доказать, что если два слоя воздуха, насыщенные настоящимъ невидимымъ паромъ, но имѣющіе различныя температуры, встрѣчаются и смѣшиваются между собою, то при этомъ пары обращаются или въ форму облаковъ, или въ форму капель дождя. Въ основаніе этого мнѣнія онъ приводитъ слѣдующее соображеніе: температура смѣси должна быть средней температурой двухъ соединившихся воздушныхъ слоевъ; но сила пара въ смѣси, которая также должна быть средней силой

двухъ соединяющихся силъ пара, будетъ больше, чѣмъ сила, соотвѣтствующая этой средней температурѣ; такъ какъ сила пара увеличивается быстрѣе, чѣмъ сила температуры *); и поэтому часть пара должна сгуститься. Это объясненіе предполагаетъ, что воздухъ насыщается паромъ, и потому въ этой формѣ оно не согласно съ принципомъ Дальтона; но не трудно измѣнить въ немъ нѣкоторыя выраженія такъ, что существенная часть объясненія будетъ вѣрна.

Роса. — Принципъ конституирующей температуры пара и объясненіе точки росы были уже извѣстны, какъ мы сказали (гл. III, § 3), метеорологамъ прошлаго столѣтія; но какъ не полно было ихъ знаніе, мы видимъ изъ того, что они очень медленно выводили слѣдствія изъ этихъ извѣстныхъ имъ принциповъ. Мы уже говорили о книгѣ, которая обратила общее вниманіе на вѣрные метеорологическіе принципы по крайней мѣрѣ въ Англіи; это было сочиненіе Уэлля «Опытъ о росѣ», напечатанное въ 1814 г. Въ этомъ сочиненіи авторъ описываетъ, какъ послѣдовательно развивались его мнѣнія. **) «Осенью 1784 г.», говоритъ онъ, «одинъ обыкновенный и грубый опытъ навелъ меня на мысль, что происхожденіе росы всегда производитъ холодъ.» Это было подтверждено и опытами другихъ. Но чрезъ нѣсколько лѣтъ, продолжаетъ онъ, «разсуждая объ этомъ предметѣ съ большей строгостью, я началъ подозрѣвать, что Вильсонъ, Сиксъ и я сильно ошибались, принимая холодъ, сопровождающій росу,

---

*) «Essay on Dew», p. 1.
**) «Edinb. Trans.» vol. I, p. 42.



за слѣдствіе образованія росы.» Послѣ этого онъ увѣрился, что холодъ напротивъ есть причина росы. И вскорѣ оказалось, что онъ въ состояніи объяснить многія любопытныя и странныя обстоятельства образованія росы, предположивъ, что тѣла, на которыхъ осаждается роса, вслѣдствіе лучеиспусканія теплоты при ясномъ вечернемъ небѣ, охлаждаются до извѣстной степени ниже обыкновенной, свойственной имъ температуры. Тотъ-же самый принципъ, очевидно, можетъ объяснить образованіе тумана надъ рѣками и озерами, когда воздухъ станетъ холоднѣе, чѣмъ вода. Это же самое объясненіе Деви высказывалъ уже въ 1819 г. какъ новое ученіе или по крайней мѣрѣ мало извѣстное.

Гигрометры.—Смотря по тому, больше или меньше содержитъ въ себѣ воздухъ паровъ противъ того, сколько онъ можетъ заключать ихъ въ себѣ при своей температурѣ и давленіи, онъ бываетъ болѣе или менѣе влажнымъ. Инструментъ для подобной градаціи влажности воздуха называется гигрометромъ. Первые изобрѣтенные гигрометры измѣряли влажность воздуха дѣйствіемъ, какое она производитъ на различныя органическія вещества, расширяя или сжимая ихъ; такъ напр. Соссюръ употреблялъ для гигрометра волосъ, Делюкъ — китовый усъ, а Дальтонъ кусокъ кишечной струны. Всѣ эти разнаго устройства инструменты, при одинаковыхъ обстоятельствахъ, давали различныя показанія; и кромѣ того не легко было узнать физическій смыслъ ихъ указаній. Точка росы или конституирующая температура пара, существующаго въ воздухѣ, представляютъ величину постоянную и опредѣлимую. Опредѣленіе этой точки, какъ исходнаго пункта для

обозначенія влажности воздуха, было сдѣлано Леруа и Дальтономъ (1802), которые сгущали пары холодной водой. Наконецъ Даніэль въ 1812 г. *) устроилъ инструментъ, гдѣ охлажденіе и сгущеніе производятся испареніемъ эѳира. Этотъ гигрометръ Даніэля даетъ возможность опредѣлять количество пара, находящагося въ данное время въ атмосферѣ.

(2-е изд.) [Какъ на удачное примѣненіе открытыхъ атмологическихъ законовъ, я могу указать на усовершенствованіе теоріи и употребленія особаго рода гигрометра, въ которомъ, смачивая шарикъ термометра, мы производимъ пониженіе температуры и сжатіе ея, и изъ этого заключаемъ о дальнѣйшемъ сжатіи, которое произвело бы росу. Исторія этого инструмента такъ резюмирована Форбесомъ: Гюттонъ изобрѣлъ методъ; Лесли расширилъ его, давъ вѣроятную, хотя не вполнѣ совершенную теорію его; Гей-Люссакъ своими превосходными опытами и соображеніями дополнилъ эту теорію и довелъ до совершенства въ томъ, что касается сухаго воздуха; Ивори еще болѣе расширилъ теорію, которая была приложена къ практикѣ Августомъ и Боненбергеромъ, точно опредѣлившими постоянную точку. Англійскіе наблюдатели подтвердили заключенія трудолюбивыхъ нѣмцевъ; а опыты Апджона и Принсепа должны считаться окончательно опредѣлившими точность и значеніе показаній на одномъ концѣ скалы, что̀ опыты Кемтца сдѣлали для другой **).

Два отчета Форбеса о послѣднемъ прогрессѣ и на-

---

*) Даніэль, *Met. Ess.* p. 142. Manch. Mem. vol. V, p. 581.
**) «Second Report on Meteorologie», p. 101.



стоящемъ состояніи метеорологіи, напечатанные въ «Reports of the British Association» за 1832 и 1840 гг., заключаютъ въ себѣ подробный и ясный обзоръ успѣховъ метеорологіи. Можетъ быть кто-нибудь спроситъ, почему я между индуктивными науками не далъ мѣста метеорологіи? На это я отвѣчу, что всякій, кто прочтетъ эти отчеты, или другія сочиненія съ тѣми же взглядами на предметъ, увидитъ, что метеорологія не есть особая наука, а только приложеніе многихъ наукъ къ объясненію метеорологическихъ явленій. Въ числѣ этихъ наукъ первое мѣсто занимаетъ Термотика и Атмологія; но и другія науки также участвуютъ въ метеорологическихъ объясненіяхъ. Такъ напр. Оптика объясняетъ радугу, круги, сіянія и кольца вокругъ солнца и планетъ и тому подобныя явленія; Электричество объясняетъ громъ, молнію, сѣверное сіяніе, градъ и проч. Подобнымъ образомъ и другія науки объясняютъ разныя другія метеорологическія явленія.]

Облака. — Когда паръ, вслѣдствіе охлажденія его ниже конституирующей температуры, становится видимымъ, то онъ значитъ превратился въ водяной порошокъ, частички котораго чрезвычайно малы; различные писатели различнымъ образомъ опредѣляютъ діаметръ этихъ частичекъ отъ $^1/_{100,000}$ до $^1/_{20,000}$ части вершка *). Такія частички, даже если онѣ не составляютъ пустыхъ пузырьковъ, должны опускаться весьма тихо; и самой малѣйшей причины достаточно для того, чтобы удержать ихъ на воздухѣ; такъ что

*) Кемтцъ, *«Метеорологія»*, I, 393.



для объясненія ихъ нѣтъ надобности прибѣгать къ гипотезѣ о пустыхъ пузырькахъ, о которыхъ мы уже говорили. Эта гипотеза можетъ объяснить явленіе только тогда, когда предположить, что эти пузырьки наполнены воздухомъ еще болѣе разрѣженнымъ, чѣмъ атмосфера. Поэтому хотя нѣкоторые и до сихъ поръ держатся этой гипотезы *), однако на нее можно смотрѣть какъ на фактъ наблюденія, доказываемый оптическими и другими явленіями, но вовсе не доказываемый тѣмъ, что облака носятся по воздуху. Различные естествоиспытатели объясняли различно то явленіе, почему облака могутъ держаться на воздухѣ; Гей-Люссакъ **) предполагаетъ для этого направляющееся вверхъ теченіе воздуха, а Френель объясняетъ это теплотой и разрѣженіемъ воздуха внутри облаковъ.

Классификація облаковъ.—Классификація облаковъ тогда только можетъ считаться имѣющей смыслъ и понятной, когда она основана на ихъ атмологическихъ условіяхъ. Такая система раздѣленія и была предложена Люкомъ Говардомъ въ 1802—1803 г. По его мнѣнію главные виды облаковъ суть слѣдующіе: перистыя облака (cirrus), кучевыя (cumulus) и слоистыя (stratus). Перистыя облака состоятъ изъ собранія множества волоконъ или нитей, параллельныхъ или спутанныхъ, летаютъ въ высокихъ частяхъ атмосферы и увеличиваются по всѣмъ направленіямъ; кучевыя увеличиваются скопленіемъ въ верхнихъ ча-

*) Ibid. I, 393; Робинзонъ, II, 13.
**) «Ann. Chim.» XXV, 1822.

стяхъ и имѣютъ шарообразный видъ съ горизонтальнымъ основаніемъ; слоистыя увеличиваются прибавленіями на нижнихъ частяхъ и носятся обыкновенно близъ земли по горизонту. Между этими простыми видами есть еще промежуточные: перисто-кучевыя и перисто-слоистыя и потомъ кучево-слоистыя и наконецъ дождевыя. Эта классификація принята почти по всей Европѣ; и при помощи ея, описаніе процессовъ, происходящихъ въ атмосферѣ, можетъ быть сдѣлано опредѣленнѣе и яснѣе, чѣмъ это было бы безъ всякой классификаціи.

Я пропускаю здѣсь громадную массу фактовъ и мнѣній, предполагаемыхъ законовъ и гипотетическихъ причинъ, которыми метеорологія изобилуетъ болѣе, чѣмъ какая-нибудь другая наука. Самое простое соображеніе показываетъ намъ, что для успѣха въ этомъ отдѣлѣ науки нужно громадное количество труда, безчисленное множество наблюденій, производимыхъ въ связи одни съ другими. О высшихъ частяхъ атмосферы мы не знаемъ почти ничего. Пониженіе температуры по мѣрѣ возвышенія атмосферы надъ поверхностью земли, одинъ изъ важнѣйшихъ метеорологическихъ фактовъ, объясняется различными учеными различно. Такъ напр. Дальтонъ (1808) *) хотѣлъ объяснить это посредствомъ принципа, что каждая частичка воздуха въ одномъ отвѣсномъ столбѣ воздуха имѣетъ одинаковую температуру; но этотъ принципъ онъ считаетъ чисто эмпирическимъ. Фурье говоритъ

*) «New syst. of Chem.» vol. I, p. 125.

(1817) *): «это явленіе происходитъ отъ многихъ причинъ, изъ которыхъ главная состоитъ въ постепенномъ погашеніи лучей теплоты въ послѣдовательно возвышающихся слояхъ атмосферы».

(3-е изд.). *Температура атмосферы.*—Какъ важное дополненіе къ нашимъ познаніямъ объ этомъ предметѣ я могу указать результаты четырехъ воздушныхъ путешествій, сдѣланныхъ на аэростатѣ въ 1852 г. **) коммиссіей Метеорологической обсерваторіи, устроенной въ Кью Британскимъ обществомъ для развитія наукъ. Во время этихъ путешествій наблюдатели поднимались до 13,000, до 18,000, до 19,000 и наконецъ до 22,370 футовъ; при этихъ поднятіяхъ температура упала съ + 49 градусовъ до 10 градусовъ ниже нуля и точка росы—съ 37 до 12 градусовъ. Самый замѣчательный результатъ наблюденій, произведенныхъ при этихъ поднятіяхъ, состоитъ въ слѣдующемъ: температура воздуха понижается равномѣрно по мѣрѣ возвышенія надъ поверхностью; но это пониженіе не постоянно. На извѣстной высотѣ, различной въ различные дни, пониженіе температуры останавливается, и въ слоѣ воздуха отъ 2 до 3,000 футовъ температура по мѣрѣ поднятія не уменьшается и даже увеличивается. Выше этого слоя опять бываетъ пониженіе температуры и почти въ той же пропорціи, какъ и ниже его. Этотъ промежуточный слой, гдѣ температура перестаетъ понижаться, начинался на различной высотѣ во время разныхъ путешествій;

---

*) «Ann. Chim.» VI, 285.

**) «Phil. Trans.» 1853.

именно одинъ разъ на высотѣ отъ 4,000 до 6,000 футовъ, другой разъ отъ 6,500 до 10,000 фут., третій разъ отъ 2,000 до 4,500 и четвертый отъ 4,000 до 8,000. Этотъ перерывъ въ пониженіи температуры сопровождался значительнымъ и быстрымъ пониженіемъ температуры точки росы, или дѣйствительнымъ сгущеніемъ пара. Такимъ образомъ этотъ слой есть царство облаковъ, и увеличеніе температуры въ немъ происходитъ повидимому отъ скрытой теплоты, освобождающейся въ большомъ количествѣ при сгущеніи водяныхъ паровъ въ облака.

ГЛАВА IV.

Физическая Теорія Теплоты.

ПРИ взглядѣ на положеніе той отрасли знанія, которую мы, по принятой нами терминологіи, должны назвать Физической Термотикой въ противоположность Формальной Термотикѣ, занимающейся только частными законами явленій, мы видимъ, я что оно весьма отлично отъ того положенія, въ какомъ находятся физическая астрономія, физическая оптика и физическая акустика. Въ этихъ наукахъ составители опредѣленной и общей теоріи успѣли доказать, что она объясняетъ и объединяетъ главные законы явленій самаго различнаго рода; въ Термотикѣ же, напротивъ, мы видимъ только попытки объяснить одну часть фактовъ. Въ Термотикѣ мы не встрѣчаемъ ни одного примѣра гипотезы, которая, бывъ придумана для объясненія одного рода явленій, оказалась бы годною для объясненія явленій другаго рода, подобно тому, какъ ученіе о центральныхъ силахъ объяснило предвареніе равноденствій, или какъ ученіе о поляризаціи свѣта

объяснило и двойное преломленіе его, или наконецъ какъ давленіе атмосферы, доказанное барометромъ, послужило для опредѣленія скорости звука. Такія совпаденія или согласія, какъ я уже однажды назвалъ ихъ, служатъ вѣрными признаками истины; но термотическія теоріи не представили намъ до сихъ поръ ни одного признака такого рода.

Разсматривая сдѣланный нами обзоръ этой науки, мы видимъ, что она можетъ быть раздѣлéна на двѣ части. Одна заключаетъ въ себѣ ученіе о теплопроводимости и лучистой теплотѣ, и ее мы назвали собственно Термотикой; а другая заключаетъ въ себѣ ученіе объ отношеніи между теплотой, воздухомъ и влажностью, и ее мы назвали Атмологіей. Примѣнительно къ этому дѣленію мы и будемъ разсматривать гипотезы, придуманныя для объясненія этихъ явленій,

Теорія Термотики.—Явленія лучистой теплоты, подобно явленіямъ лучистаго свѣта, очевидно могутъ быть объясняемы двоякимъ способомъ, или истеченіемъ матеріальныхъ частичекъ, или же распространеніемъ волнообразныхъ движеній. Оба эти способа нашли себѣ приверженцевъ. Приверженцы теоріи Прево объ обмѣнѣ теплорода вѣроятно считаютъ лучистую теплоту лучеиспусканіемъ или истеченіемъ тѣпловой матеріи. Теорія же волнообразныхъ движеній подтверждается появленіемъ теплоты отъ тренія; и потому этой теоріи держались Румфордъ и другіе. Лесли въ большей части своего трактата *) повидимому скло-

*) «An Experimental Inquiry into the Nature and Propagation of Heat». 1804.



няется въ пользу волнообразной теоріи; но чрезвычайно трудно понять, въ какой средѣ, по его мнѣнію, совершаются тепловыя волнообразныя движенія; или лучше сказать: его собственныя воззрѣнія во всемъ сочиненіи представляютъ нѣчто въ-родѣ волнообразнаго движенія и колебанія. На стр. 31 онъ спрашиваетъ, «что такое эта теплородная и холоднородная жидкость». И, продержавъ нѣсколько читателя въ ожиданіи, онъ отвѣчаетъ: «quod petis, hic est (чего ты ищешь, вотъ оно), это есть просто окружающій насъ ВОЗДУХЪ.» Но на стр. 150 онъ опять предлагаетъ тотъ же вопросъ, и на стр. 188 отвѣчаетъ на него такъ: «это есть та же самая матерія, которая, смотря по различнымъ формамъ своего существованія, производитъ то теплоту, то свѣтъ.» Человѣкъ, колеблющійся подобнымъ образомъ между двумя мнѣніями, изъ которыхъ одно очевидно ложно, а другое представляетъ множество трудностей, устранить которыхъ онъ даже не попытался, не имѣетъ ни малѣйшаго права нападать на забавныя фантазіи о «какихъ-то неосязаемыхъ таинственныхъ силахъ», ставить всѣ другія гипотезы кромѣ его собственныхъ наряду съ сокровенными качествами древнихъ школъ и приписывать своимъ противникамъ предразсудки, похожіе на мысль объ отвращеніи природы къ пустотѣ, на которую ссылались противники Торричелли. Подобнаго рода реторика хороша тѣмъ, что ею можно защищать и правое и неправое дѣло.

До послѣдняго времени теорія, по которой теплота есть матеріальное вещество, распространяющееся черезъ истеченіе, пользовалась особеннымъ расположеніемъ

тѣхъ, которые занимались математической термотикой. Какъ мы уже сказали, законы теплопроводимости въ ихъ послѣдней аналитической формѣ почти тождественны съ законами движенія жидкостей. Такъ же точно принципъ Фурье, что лучеиспусканіе происходитъ отъ точекъ ниже поверхности и задерживается частичками на поверхности, повидимому, говоритъ въ пользу матеріальнаго истеченія.

Поэтому нѣкоторые изъ лучшихъ математиковъ приняли и развивали гипотезу о вещественномъ теплородѣ. Къ ученію Фурье о молекулярномъ лучеиспусканіи вовнѣ Лапласъ и Пуассонъ прибавили еще гипотезу о молекулярномъ лучеиспусканіи внутрь, посредствомъ котораго совершается теплопроводимость. Именно они утверждали, что тѣла состоятъ изъ частичекъ, отдѣленныхъ одна отъ другой и дѣйствующихъ другъ на друга на разстояніи; и такимъ образомъ проводимость теплоты отъ одной частички до другой есть ни что иное, какъ лучеиспусканіе теплоты между всѣми сосѣдними частичками. Они утверждаютъ, что безъ этой гипотезы дифференціальныя уравненія, выражающія условія теплопроводимости, не могутъ быть однородными. Но я думаю, что это мнѣніе ошибочно, какъ это доказалъ Фурье тѣмъ, что самъ отказался отъ этой гипотезы. Пуассонъ утверждалъ, что гипотеза отдѣльныхъ частичекъ и дѣйствій ихъ другъ на друга на разстоянiяхъ необходима во всѣхъ случаяхъ; и на этомъ основаніи утверждалъ, что теорія Лапласа о капиллярномъ притяженіи не вѣрна. А Лапласъ съ своей стороны доказывалъ, что гипотеза Фурье о теплотѣ не вѣрна. И въ самомъ дѣлѣ эта

гипотеза объ отдѣльныхъ частичкахъ не можетъ быть названа физической истиной. Потому что предположеніе молекулярнаго дѣйствія, хотя и удовлетворяетъ своей цѣли въ процессѣ вычисленія, но зато исчезаетъ въ его результатѣ; такъ что окончательный результатъ бываетъ одинаковъ, какое бы предположеніе ни было сдѣлано сначала о разстояніяхъ между частичками. Опредѣленный выражающій цѣлое дѣйствіе интегралъ такъ же мало доказываетъ что это цѣлое дѣйствіе произошло изъ дифференціальныхъ величинъ, посредствомъ которыхъ оно найдено, какъ и процессъ интеграціи, которымъ опредѣляется вѣсъ тѣла, вовсе не доказываетъ, чтобы этотъ вѣсъ тѣла состоялъ изъ отдѣльныхъ вѣсовъ его частитекъ. И такимъ образомъ, если мы принимаемъ теорію истеченія теплоты, то при этомъ вовсе не обязаны необходимо принимать и гипотезу объ отдѣльныхъ частичкахъ, составляющихъ тѣла.

Но открытіе преломленія, поляризаціи и деполяризаціи теплоты быстро измѣнило теоретическіе взгляды на нее и почти однимъ ударомъ разрушило теорію истеченія. Такъ какъ теплота преломляется и отражается подобно свѣту, то аналогія естественно приводитъ насъ къ заключенію, что механическій процессъ въ обоихъ явленіяхъ одинаковъ. А когда еще къ этимъ свойствамъ теплоты прибавить свойство ея поляризоваться, то почти невозможно удержаться отъ мысли, что теплота состоитъ изъ поперечныхъ вибрацій; потому что ни одинъ здравомыслящій естествоиспытатель не будетъ объяснять указанныхъ явленій предположеніемъ полюсовъ въ истекающихъ ча-

стичкахъ послѣ того, какъ опытъ оптики доказалъ совершенную несостоятельность такого механизма.

Но при этомъ возникаетъ вопросъ, если теплота состоитъ въ вибраціяхъ, то отчего происходитъ удивительное сходство законовъ ея распространенія съ законами движенія жидкихъ матеріальныхъ тѣлъ? Отчего происходитъ, что при проведеніи теплоты эти вибраціи малѣйшихъ частичекъ медленно переходятъ отъ одной части тѣла къ другой, такъ что часть прежде нагрѣтая остается болѣе горячей и все тѣло нагрѣвается не вдругъ, тогда какъ, судя по вибраціямъ звука и свѣта, и вибраціи теплоты должны были бы быстро распространяться отъ одной части тѣла къ другой? Точный и удовлетворительный отвѣтъ на эти вопросы данъ былъ знаменитымъ естествоиспытателемъ Амперомъ, который напечаталъ «Замѣчанія о теплотѣ и свѣтѣ, разсматриваемыхъ какъ результаты волнообразныхъ движеній» въ 1834 и 1835 гг. *); и хотя его отвѣтъ есть гипотеза, но во всякомъ случаѣ онъ показываетъ, что для теоріи волнообразныхъ движеній теплоты нѣтъ непреодолимыхъ трудностей.

Гипотеза Ампера состоитъ въ слѣдующемъ: тѣла состоятъ изъ твердыхъ частичекъ, молекуловъ, которые можно представлять помѣщенными въ чрезвычайно тонкомъ и рѣдкомъ эѳирѣ на извѣстныхъ разстояніяхъ, и что теплота происходитъ отъ вибрацій этихъ частичекъ; а эти вибраціи производятъ вибраціи въ эѳирѣ и въ свою очередь производятся этими послѣд-

*) «Bibliothèque Universelle de Genève», vol. XLIX, p. 225. «Ann. Chim.», vol. LVII, p. 434.



ними. Эти предположенія объясняютъ намъ явленія теплопроводимости; потому что когда частички на одномъ концѣ металлическаго прута нагрѣты и стало быть приведены въ вибрирующее движеніе, между тѣмъ какъ другія болѣе отдаленныя частички находятся въ покоѣ, то нагрѣтыя и вибрирующія частички производятъ вибраціи только въ окружающемъ ихъ эѳирѣ; вибраціи же эѳира производятъ теплоту только тогда, когда онѣ приведутъ въ вибрирующее движеніе покоящіяся частички прута. Но такъ какъ эѳиръ весьма рѣдокъ и не плотенъ въ сравненіи съ частичками прута, то нужно много преемственно повторенныхъ вибрацій эѳира для того, чтобы онѣ могли заставить вибрировать ближайшія къ нимъ покоящіяся частички прута; и послѣ этого только онѣ дѣйствуютъ вмѣстѣ и сообщаютъ вибрирующее движеніе его частичкамъ болѣе отдаленнымъ. «Такимъ образомъ,—говоритъ Амперъ,—мы необходимо приходимъ къ тѣмъ же уравненіямъ для распредѣленія теплоты, къ какимъ пришелъ Фурье, на основаніи гипотезы, что температура или передаваемая теплота пропорціональна разности температуръ».

Когда такимъ образомъ волнообразная теорія отвѣтила на всѣ существенныя возраженія противъ нея, то ей остается только ждать дальнѣйшаго подтвержденія или видоизмѣненія вслѣдствіе будущихъ открытій и въ особенности вслѣдствіе расширенія нашихъ знаній о законахъ поляризаціи теплоты.

(2-е изд.) [Послѣ перваго изданія этого сочиненія найдены были еще дальнѣйшія аналогіи между свѣтомъ и теплотой. Біо и Меллони открыли, что кварцъ

производитъ круговую поляризацію теплоты. Форбесъ нашелъ, что слюда при извѣстной толщинѣ производитъ такія явленія, какія произошли бы отъ круговой поляризаціи, если предположить поперечныя вибраціи лучистой теплоты, и что ромбъ изъ горнаго хрусталя такой же формы, какую имѣлъ стеклянный ромбъ, подтвердившій смѣлое предсказаніе Френеля о круговой поляризаціи свѣта, подтвердилъ также догадку о поляризаціи теплоты, основанную на другихъ аналогіяхъ. Пропуская поляризованную теплоту черезъ пластинки слюды различной толщины, Форбесъ пытался вычислить длину волны теплоты.]

Эти аналогіи рѣшительно заставляютъ думать, что свѣтъ и теплота такъ тѣсно связаны между собой, что ихъ даже трудно отдѣлить другъ отъ друга, и, имѣя такъ много общихъ любопытныхъ свойствъ, происходятъ отъ одинаковаго механизма движенія; и такимъ образомъ приводятъ насъ къ волнообразной теоріи теплоты.

Однако такая теорія далеко еще не получила до сихъ поръ полнаго подтвержденія. Она вся основывается на аналогіи и связи съ теоріей свѣта, а сама по себѣ безъ этихъ аналогій мало имѣетъ вѣса. Въ термотическихъ явленіяхъ и опытахъ не было открыто ничего похожаго на раздѣленіе лучей свѣта отъ двойнаго преломленія и на явленія періодической интенсивности его; а это два факта, на которыхъ главнымъ образомъ опирается теорія оптики. Форбесъ предполагалъ, что теплота также обнаруживаетъ періодическія измѣненія, если увеличивать толщину пластинки слюды. Но въ его опытахъ мы видимъ толь-

ко одинъ maximum теплоты. Еслибы при этихъ обстоятельствахъ мы видѣли періодическую смѣну и появленіе то minimum, то maximum теплоты, то это очевидно показало бы намъ, что существуютъ волны теплоты, какъ доказали это относительно свѣта каймы вокругъ тѣней, и такимъ образомъ неопровержимо подтвердили бы теорію.

Даже еслибы я считалъ волнообразную теорію теплоты и вполнѣ доказанной, то я не осмѣливался бы въ настоящее время описывать установленіе этой теоріи какъ событіе въ исторіи индуктивныхъ наукъ; потому что только спустя нѣсколько времени послѣ такихъ событій, составляющихъ эпоху въ наукѣ, можно вполнѣ понять ихъ исторію и характеръ и извлечь изъ нихъ урокъ для философіи науки.

Теорія Атмологіи. — Гипотезы объ отношеніяхъ между теплотой и воздухомъ прежде всего должны имѣть дѣло съ силами, отъ которыхъ зависитъ составъ тѣлъ; и потому мы не можемъ говорить здѣсь объ нихъ не познакомившись напередъ съ положеніемъ нашихъ химическихъ знаній. Однако мы скажемъ нѣсколько словъ объ одной изъ такихъ гипотезъ, именно о гипотезѣ относительно атмологическихъ законовъ теплоты. Эта гипотеза была предложена Лапласомъ въ XII книгѣ «Méchanique Céleste», напечатанной въ 1823 г. Прежде всего мы напомнимъ законы тѣхъ явленій, которыя берется объяснить эта гипотеза:

1) Законъ Бойля и Маріотта, что упругость воздуха пропорціональна его плотности. См. въ этой книгѣ гл. III, § 1.

2) Законъ Гей-Люссака и Дальтона, что всѣ газы одинаково расширяются отъ теплоты. См. гл. II, § 1.

3) Отъ быстраго сжатія является теплота. См. гл. II, § 2.

4) Принципъ Дальтона о механическомъ смѣшеніи газовъ. См. гл. III, § 3.

5) Законъ расширенія твердыхъ и жидкихъ тѣлъ отъ теплоты. См. гл. II, § 1.

6) Измѣненія въ консистенціи тѣлъ, производимыя теплотой и ученіе о скрытой теплотѣ. См. гл. II, § 3.

7) Законъ упругой силы пара. См. гл. III, § 4.

Кромѣ этихъ законовъ есть еще законы, о которыхъ трудно сказать, заключаются ли они въ вышеизложенныхъ законахъ или нѣтъ; какъ напр. пониженіе температуры въ высшихъ слояхъ атмосферы. См. гл. III, § 5.

Гипотеза Лапласа имѣетъ такой видъ *): тѣла состоятъ изъ частичекъ, изъ которыхъ каждая своимъ притяженіемъ держитъ вокругъ себя извѣстное количество теплорода; частички тѣлъ притягиваютъ другъ друга такъ же какъ притягиваютъ и теплородъ; но сами частички теплорода взаимно отталкиваются.

Въ газахъ частички ихъ такъ отдалены одна отъ другой, что ихъ взаимное притяженіе почти не чувствительно, и вслѣдствіе этого эти вещества постоянно стремятся къ расширенію вслѣдствіе взаимнаго отталкиванія теплородныхъ частичекъ. Лапласъ предполагаетъ, что этотъ теплородъ постоянно лучеиспускается между частичками; плотность этого внутренняго

*) «Méch. cél.» t. V, p. 89.



лученспусканія есть температура газа. Затѣмъ онъ доказываетъ, что, на основаніи этого предположенія, упругость газа должна быть пропорціональна его плотности и этой температурѣ. Изъ этого вытекаютъ три первые вышеуказанные закона. Тѣ же самыя предположенія приводятъ къ принципу Дальтона о смѣшеніи газовъ (4), хотя понимаемому не такъ, какъ представлялъ его Дальтонъ; потому что Лапласъ думаетъ, что, каково бы ни было взаимное дѣйствіе двухъ газовъ, общее давленіе ихъ будетъ равно суммѣ ихъ отдѣльныхъ давленій *). Расширеніе отъ теплоты (5) и измѣненія въ консистенціи (6) объясняются предположеніемъ **), что въ твердыхъ тѣлахъ взаимное притяженіе частичекъ этихъ тѣлъ есть наибольшая и преобладающая сила, въ жидкихъ же преобладаетъ притяженіе частичекъ къ теплороду, а въ воздухообразныхъ— отталкиваніе теплородныхъ частичекъ. Ученіе о скрытой теплотѣ потребовало видоизмѣненія гипотезы †), и Лапласъ вынужденъ былъ разсматривать скрытую теплоту независимо отъ своей гипотезы. Вся эта гипотеза не получила еще никакого подтвержденія отъ какого-нибудь новаго класса явленій, чего мы могли бы ожидать, еслибы она была вѣрна. Кажется также, что эта гипотеза не можетъ еще объяснить отношенія между упругостью пара и его температурой.

Нужно замѣтить, что гипотеза Лапласа вся построена на основаніи предположенія вещественности теплоты и несогласима съ какой бы то ни было теоріей

---

*) Ibid. p. 110. **) Ibid. p. 92.

†) Mech. cel.» V, 93.

волнообразныхъ движеній; «потому что—какъ замѣчаетъ Амперъ—очевидно, что, предполагая теплоту состоящей изъ волнообразныхъ движеній, мы впадемъ въ противорѣчіе, если станемъ приписывать теплороду отталкивательныя силы между частичками, которыя должны быть причиной вибрацій».

Мы не можемъ произнести благопріятнаго сужденія о теоріи Лапласа относительно газовъ, если будемъ судить ее съ точки зрѣнія того, что мы въ исторіи оптики назвали самымъ рѣшительнымъ признакомъ вѣрной теоріи; именно съ точки зрѣнія совпаденія, или соглашенія индукцій, состоящаго въ томъ, что гипотеза, придуманная для объясненія одного класса фактовъ, оказывается годной и для объясненія другаго класса явленій. Такъ напр. въ термотикѣ законъ, что напряженность лучеиспусканія пропорціональна синусу угла теплоты съ поверхностью, найденъ былъ посредствомъ прямыхъ опытовъ надъ лучеиспусканіемъ; но затѣмъ оказалось, что онъ необходимъ для объясненія того, что сосѣднія тѣла стремятся принимать одинаковую температуру; и это повело къ высшему обобщенію, что теплота лучеиспускается отъ точекъ, лежащихъ ниже поверхности тѣлъ. Но ученіе Лапласа объ отношеніи теплоты къ газамъ не получило до сихъ поръ ни одного изъ этихъ неожиданныхъ и непредполагавшихся сначала подтвержденій; и хотя она объясняетъ нѣкоторые изъ главнѣйшихъ законовъ, но всѣ ея предположенія заимствованы изъ этихъ же самыхъ уже извѣстныхъ законовъ. Такимъ образомъ, на основаніи предположенія, что отталкиваніе газовъ происходитъ отъ взаимнаго отталкиванія частичекъ

теплорода, онъ находитъ, что давленіе каждаго газа пропорціонально квадрату плотности и количеству содержащагося въ немъ теплорода *); а изъ предположенія, что температура состоитъ во внутреннемъ лучеиспусканіи, онъ выводитъ заключеніе что температура пропорціональна плотности и квадрату количества теплорода **). И этимъ путемъ онъ получаетъ законъ Бойля и Маріотта также какъ законъ Дальтона и Гей-Люссака. Но къ этимъ предположеніямъ нужно было прибавить еще новое предположеніе для объясненія скрытой теплоты; и потому онъ въ свои вычисленія относительно скрытой теплоты вводитъ еще новую величину †). Но эта величина не имѣетъ дальнѣйшаго вліянія на его вычисленія; и онъ не примѣняетъ своихъ заключеній ни къ одной изъ проблемъ относительно скрытой теплоты.

Не произнося рѣшительнаго сужденія о достоинствѣ этой гипотезы, мы осмѣливаемся однако замѣтить, что ей не достаетъ тѣхъ выступающихъ и характеристическихъ признаковъ, которые мы находимъ во всѣхъ великихъ теоріяхъ, признанныхъ въ настоящее время вполнѣ разъясненными и неподлежащими сомнѣнію.

Заключеніе.—Нужно замѣтить еще, что теплота имѣетъ другія отношенія и дѣйствія, на которыя, если они будутъ подведены подъ численные законы явленій, также нужно обращать вниманіе при составленіи термотической теоріи. Химія, по всей вѣроятности, укажетъ намъ на многія изъ такихъ отношеній

*) Ibid. p. 107. Уравненіе $P=2\pi HK\varrho^2c^2$.

**) Ibid. p. 108. Уравненіе $q^1\pi(a)=\rho c^2$.

†) Именно величину ι, p. 113.



и дѣйствій; и тѣ изъ нихъ, на которыя она уже указала, мы разсмотримъ впослѣдствіи. Здѣсь же для примѣра можемъ указать на законъ Деларива и Марсе, что специфическая теплота всѣхъ газовъ одинакова *); и на законъ Дюлона и Пети, что отдѣльные атомы всѣхъ простыхъ тѣлъ имѣютъ одинаковую теплоемкость *). Хотя мы еще ничего не говорили до сихъ поръ объ отношеніяхъ между различными газами и не объясняли значенія атомовъ въ химическомъ смыслѣ, однако легко понять, что законы подобнаго рода весьма общи и важны.

Такимъ образомъ наука Термотика, какъ ни далека она отъ совершенства, составляетъ въ высшей степени поучительную часть нашего обзора и одинъ изъ основныхъ пунктовъ, отъ которыхъ зависитъ открытіе дверей, ведущихъ въ неизвѣстные еще для насъ отдѣлы физическаго знанія. Потому что съ одной стороны эта наука имѣетъ очень близкія аналогіи и соотношенія съ самыми обширными отдѣлами нашихъ знаній, съ механическими ученіями и съ оптическими теоріями; а съ другой стороны она связана съ качествами и законами совершенно особаго свойства, именно съ химическими явленіями, качества и законы которыхъ вводятъ насъ въ совершенно новую систему понятій и отношеній, между которыми еще гораздо труднѣе, чѣмъ въ вышеизложенныхъ наукахъ, отыскать ясные и основные общіе принципы и отъ разъясненія которыхъ въ сильной степени зависитъ буду-

*) «Ann. Chim.» XXXV, 1827.
**) Ibid. X, 397.



щій прогрессъ человѣческаго знанія. Къ этимъ законамъ и отношеніямъ мы и должны были бы перейти теперь; но прежде мы займемся промежуточной областью нашихъ свѣдѣній, которую я буду называть Механико-Химическими науками, подъ которыми я разумѣю ученіе о Магнетизмѣ, Электричествѣ и Гальванизмѣ.

(3-е изд.). *Динамическая теорія теплоты.*—Что распространеніе лучистой теплоты совершается посредствомъ волнообразныхъ движеній извѣстной среды такимъ способомъ, какъ это несомнѣнно доказано относительно звука и какъ это весьма вѣроятно относительно свѣта, — это есть теорія, которая, какъ я старался разъяснить, имѣетъ за себя много сильныхъ доказательствъ и аналогій. Но есть еще другаго рода теорія, утверждающая, что теплота, по своей сущности и по своимъ количественнымъ отношеніямъ, есть движеніе. Эта гипотеза въ недавнее время была высказана и развита съ большимъ искусствомъ. Она утверждаетъ, что механическое движеніе можетъ превращаться въ теплоту, также какъ и теплота можетъ превращаться въ движеніе; что теплота и движеніе могутъ производить другъ друга, подобно тому, какъ мы видимъ это въ разрѣженіи и сгущеніи паровъ въ паровыхъ машинахъ и въ другихъ случаяхъ, и что во всѣхъ такихъ случаяхъ движеніе, произведенное теплотою, и теплота, истраченная на движеніе, вполнѣ соотвѣтствуютъ другъ другу, такъ что одно количество можетъ служить мѣрою другому. Основаніе этой теоріи положено было въ 1844 г. Джоулемъ въ Манчестерѣ; и съ тѣхъ поръ онъ самъ и профессоръ Том-

сонъ въ Глазго занялись ею посредствомъ опытныхъ изслѣдованій разнаго рода. Опыты этого рода трудно производить такъ, чтобы они были вполнѣ удовлетворительны; потому что въ превращеніяхъ этого рода трудно измѣрить все количество полученной и израсходованной теплоты. Что треніе, движеніе жидкостей, сгущеніе газовъ, обращеніе газовъ въ жидкости и жидкостей въ твердыя тѣла производятъ теплоту, — это не сомнѣнно; что количество такой теплоты можетъ быть измѣряемо механической силой, которая ее производитъ, или которая производится ею, — это есть обобщеніе, которое послужитъ обильнымъ источникомъ новыхъ предположеній и по всей вѣроятности важныхъ слѣдствій.

Какъ на примѣръ заключеній, которыя Томсонъ вывелъ изъ этого ученія о превращеніи движенія въ теплоту и наоборотъ, я укажу на его соображенія о причинѣ, которая производитъ и поддерживаетъ теплоту солнца *). Онъ предполагаетъ, что теплота на солнцѣ должна поддерживаться метеорическими массами, которыя постоянно падаютъ на солнце, причемъ движеніе ихъ превращается въ теплоту. Онъ расположенъ думать, что метеоры, которые заключаютъ въ себѣ энергію для будущаго солнечнаго свѣта, который они сообщаютъ солнцу, находятся главнымъ образомъ въ предѣлахъ земной орбиты; и что мы дѣйствительно видимъ ихъ въ видѣ Зодіакальнаго Свѣта, ко-

*) «О механической энергіи солнечной системы». Edinb. Trans. vol. XXI, part I (1854), p. 67.

торый есть ни что иное, какъ блестящій дождь или, лучше, вихрь метеорическихъ камней. Внутреннія части этого вихря держатся постоянно въ атмосферѣ солнца и тяготѣніемъ притягиваются къ его массѣ.

КОНЕЦЪ ВТОРАГО ТОМА.

ПРИМѢЧАНІЯ ЛИТТРОВА.

Іеронимъ Карданъ (стр. 8) родился въ 1501 г. въ Пармѣ и первое образованіе получилъ въ тамошнемъ университетѣ и уже на 22 г. сдѣлался въ этомъ университетѣ профессоромъ геометріи. Въ 1525 г. онъ сдѣлался докторомъ медицины въ Падуѣ и съ тѣхъ поръ въ различныхъ университетахъ Верхней Италіи преподавалъ то математику, то медицину. Изъ двухъ его сыновей одинъ былъ казненъ за то, что отравилъ свою жену, а другой за дурное поведеніе лишенъ былъ отцомъ наслѣдства.— Его безчисленныя сочиненія, которыхъ онъ самъ насчитываетъ до 126, были большею частію собраны Споніусомъ и изданы въ Ліонѣ въ десяти томахъ f°; они касаются астрологіи, математики, медицины и морали, и авторъ ихъ является въ нихъ эксцентрическимъ геніемъ, полнымъ самоуслаждающейся глупостью и мистицизмомъ. Онъ воображалъ, что родился для великой цѣли освободить міръ отъ его заблужденій и утверждалъ, что онъ изучилъ греческій, латинскій, французскій и испанскій языкъ каждый въ 24 часа, по изданію Апулея на этихъ языкахъ; онъ хвастался, что можетъ извлечь свою душу изъ тѣла и заставить ее дѣйствовать одну безъ тѣла, что въ своихъ сновидѣніяхъ видитъ будущее, стоитъ выше всѣхъ духовидцевъ и т. д. Какъ практическій и теоретическій

врачъ, онъ своими сочиненіями пріобрѣлъ славу во всей Европѣ. Теперь его медицинскія сочиненія совершенно забыты; но его заслуги въ математикѣ все-еще вспоминаются съ почетомъ. Въ своей «Ars Magna» онъ предложилъ разрѣшеніе кубическихъ уравненій, вслѣдствіе чего возникъ у него сильный споръ съ Тартальей, который еще прежде нашелъ это рѣшеніе и сообщилъ объ немъ Кардану. Карданъ былъ первый составившій вѣрное понятіе объ отрицательныхъ корняхъ уравненій. Это сочиненіе показываетъ, что онъ имѣлъ математическій талантъ Говорятъ, что этотъ чудакъ, старавшійся оригинальничать даже въ платьѣ, добровольно уморилъ себя голодомъ только для того, чтобы оправдать астрологическое предсказаніе о днѣ его смерти.

Леонардо да-Винчи (стр. 17), родившійся въ 1452 г. въ мѣстечкѣ Винчи близь Флоренціи, съ раннихъ лѣтъ отличался своимъ высокимъ талантомъ къ живописи, архитектурѣ, математикѣ, механикѣ и музыкѣ и въ 1482 г. поступилъ на службу герцога миланскаго въ качествѣ живописца, гдѣ онъ нарисовалъ знаменитѣйшую свою картину Тайную вечерю, находящуюся въ Рефекторіумѣ доминиканскаго Монастыря Maria delle Grazie, которая впослѣдствіи такъ прекрасно вырѣзана была на мѣди Рафаэлемъ Моргеномъ. Въ 1500 г. онъ получилъ порученіе расписать картинами большую залу совѣта во Флоренціи вмѣстѣ съ Микель Анджело. Въ 1513 г. онъ отправился къ папѣ Льву X въ Римъ, а оттуда въ 1515 г., по приглашенію Франциска I, переѣхалъ во Францію. Здѣсь онъ умеръ въ 1519 г. на рукахъ этого короля, въ то самое время, когда при посѣщеніи короля онъ хотѣлъ подняться съ постели. Онъ самъ окончилъ весьма немногія изъ своихъ картинъ, причиною чего были его постоянныя занятія, не позволявшія ему долгое время предаваться опредѣленной механической работѣ. Кромѣ того при началѣ каждой работы онъ бывалъ слишкомъ робокъ, а при продолженіи ея его недовольство своимъ произведеніемъ до-

ходило до такой степени, что онъ не докончивши бросалъ его. Его дѣятельность простиралась также и на другія предпріятія очень обширныя. Такъ напр. онъ провелъ воду Адды чрезъ каналъ до Милана, провелъ каналъ Мортезаны въ Вальтелинѣ на протяженіи 200 миль и т. д. Послѣ него остались замѣчательныя сочиненія. Въ своемъ «Trattato della pittura», Парижъ 1651 и Римъ 1617, онъ съ глубокой проницательностью разсматриваетъ ученіе о свѣтѣ, о тѣняхъ и т. д. Другія еще не напечатанныя его сочиненія находятся въ амвросіанской библіотекѣ въ Миланѣ. Его жизнь описалъ Браунъ, Галле 1819.

Галилей, или собственно Галилео (стр. 25)—также Galileo Galilei, т. е. сынъ Галилея,—родился 15 февраля 1564 г. въ Пизѣ. Его отецъ былъ Винченцо Галилей, который, какъ теоретикъ въ музыкѣ, и особенно своимъ сочиненіемъ «Dialogo della musica antica e moderna», Флоренція 1581 г., пріобрѣлъ себѣ значительную извѣстность. Его сынъ на 19 г. поступилъ въ Пизанскій университетъ, гдѣ по желанію родителей долженъ былъ посвятить себя медицинѣ. Но, познакомившись съ Гвидо Убальди по поводу своихъ первыхъ опытовъ надъ водяными вѣсами, онъ скоро оставилъ медицину, которую онъ ставилъ далеко ниже математики и опытной физики.

Его первымъ открытіемъ было открытіе изохронизма качаній маятника, къ чему подали поводъ движенія люстры, повѣшенной на длинной веревкѣ въ церкви. Этотъ изохронизмъ собственно только приблизителенъ и для большихъ дугъ качанія не вполнѣ вѣренъ. Также точно тогдашнія понятія Галилея о силѣ тяжести, о разложеніи силъ и пр. были далеко не полны; такъ что нельзя отказать въ справедливости требованіямъ, какія впослѣдствіи заявлялъ Гюйгенсъ, тѣмъ болѣе, что у Галилея есть много другихъ замѣчательныхъ открытій. Онъ замѣтилъ этотъ изохронизмъ качаній маятника тогда, когда сталъ сравнивать время отдѣльныхъ качаній этой лампы съ ударами своего пульса. Такъ какъ онъ скоро увидѣлъ, что болѣе

длинный маятникъ качается медленнѣе, чѣмъ короткій, то онъ предложилъ употреблять этотъ инструментъ при изслѣдованіи больныхъ, чтобы точнѣе опредѣлить скорость пульса у больнаго, — пріемъ, который долгое время употребляли итальянскіе врачи. По дружбѣ Убальди онъ былъ представленъ великому герцогу Фердинанду I, изъ дома Медичи въ Тосканѣ, гдѣ въ 1589 г. получилъ каѳедру математики въ Пизѣ съ весьма небольшимъ содержаніемъ. Здѣсь онъ тотчасъ же началъ рядъ опытовъ о движеніи, которые только впослѣдствіи и то только отчасти сдѣлались извѣстны. Вѣроятно этимъ было потеряно немного, потому что составленная имъ въ первые годы гипотеза объ отношеніи пространства къ скорости была совершенно не вѣрна. Но эти опыты все-таки привели его къ убѣжденію, что все то, что̀ говорилось до сихъ поръ, особенно Аристотелемъ о движеніи, весьма сомнительно и не вѣрно. Такимъ образомъ освобождаясь постепенно отъ оковъ предразсудка и авторитета, онъ принялся за разборъ двухъ, въ то время спорившихъ о первенствѣ, системъ, Птолемея и Коперника. Человѣкъ съ его умомъ конечно долженъ былъ дать предпочтеніе послѣдней, и онъ дѣйствительно сдѣлался первымъ бойцомъ ея и первымъ мученикомъ.

Самая важная ошибка, сохранившаяся отъ древнѣйшихъ временъ до его столѣтія, состояла въ предположеніи, будто болѣе тяжелыя тѣла падаютъ скорѣе, чѣмъ легкія. Тѣло во 100 фунтовъ должно было бы пролетѣть 100 футовъ въ то время, въ какое тѣло въ 1 фунтъ пролетитъ только 10 футовъ. Опытъ былъ сдѣланъ на такъ-называемой падающей башнѣ въ Пизѣ и оба тѣла брошенныя съ высоты башни долетѣли до ея основанія почти въ одно время. Замѣченную незначительную разницу во времени Галилей справедливо приписалъ сопротивленію воздуха. Но прочіе свидѣтели при опытѣ ухватились за эту разницу и, основываясь на ней, остались при своихъ прежнихъ воззрѣніяхъ. Своимъ новымъ открытіемъ онъ не только не пріобрѣлъ себѣ приверженцевъ, но еще

нажилъ враговъ, которые поступали съ нимъ такъ, что онъ въ 1592 г. долженъ былъ оставить Пизу и бѣжать въ Падую, гдѣ на 6 лѣтъ занялъ каѳедру математики. Здѣсь онъ изобрѣлъ родъ термометра, весьма впрочемъ несовершенный, и здѣсь же началъ дѣятельную переписку съ Кеплеромъ, кончившуюся только съ его смертію —По истеченіи этихъ 6 лѣтъ онъ еще оставленъ былъ профессоромъ и теперь уже навсегда; жалованье его было удвоено, такъ какъ въ это время значительно возрасла его слава вмѣстѣ съ числомъ его слушателей. Но его мучила болѣзнь, которая постоянно возвращалась къ нему и преслѣдовала до конца жизни Въ 1604 г. явилась новая звѣзда въ созвѣздіи Офіуха; онъ сталъ читать объ ней лекціи, въ которыхъ сталъ гораздо чаще и яснѣе, чѣмъ это совѣтовали ему его болѣе осторожные друзья, высказываться въ пользу Коперниковой системы.

Въ тоже время онъ занимался и другими предметами. Сочиненіе Гильберта «О природѣ тѣлъ» убѣдило его принять взгляды этого автора о земной тяжести и онъ приготовилъ по указаніямъ Гильберта много магнитовъ У него завязался потомъ сильный споръ съ какимъ-то Капра, который хотѣлъ присвоить себѣ открытіе пропорціональнаго циркуля. Вскорѣ послѣ этого онъ страннымъ образомъ заявилъ, что издастъ одно за другимъ множество сочиненій, именно: три книги о міровой системѣ, три о движеніи, три о механикѣ, и столько же объ акустикѣ, оптикѣ, о языкѣ, о приливѣ и отливѣ, о непрерывности матеріи, о животномъ движеніи, объ измѣреніи военныхъ лагерей и т. д. Многія изъ этихъ сочиненій были уже написаны имъ; но они послѣ его смерти были сожжены его родственниками, по совѣту ихъ духовниковъ.

1609 г. былъ однимъ изъ замѣчательнѣйшихъ въ его жизни, потому что въ этомъ году онъ устроилъ первый телескопъ, впослѣдствіи названный галилеевскимъ. Онъ состоялъ изъ выпуклаго объектива и вогнутаго окуляра. Конечно Янсенъ, голландскій оптикъ, и нѣкоторые другіе устроивали еще прежде Галилея микроскопы и даже мо-

жетъ быть не совершенные телескопы; но они не могутъ имѣть притязанія на изобрѣтеніе настоящаго *астрономическаго телескопа*, потому что ихъ инструменты болшеь игрушки, предназначенныя для развлеченія безъ серьезныхъ цѣлей, потому что имъ и въ голову не приходило примѣнить свои инструменты къ небу или для какой-нибудь научной цѣли, для чего они конечно и не годились по своему крайнему несовершенству. Но какъ бы ни рѣшенъ былъ вопросъ объ изобрѣтеніи телескопа, но приложеніе его къ небу безспорно принадлежитъ Галилею. Свой первый телескопъ онъ поднесъ венеціанскому дожу, который въ знакъ признательности утвердилъ за Галилеемъ профессорское мѣсто при университетѣ на всю жизнь и далъ ему большое жалованье, какого до того времени не получалъ ни одинъ профессоръ математики.

Вскорѣ затѣмъ онъ устроилъ еще другой значительно лучшій телескопъ такой же конструкціи и посредствомъ его сдѣлалъ свои знаменитыя астрономическія открытія. Онъ первый увидѣлъ черезъ него горы и долины на лунѣ; узналъ по отраженію свѣта въ темныхъ мѣстахъ луны, что это—свѣтъ, исходящій только отъ солнца; что упомянутыя горы на поверхности луны сравнительно гораздо больше, чѣмъ горы на землѣ; что луна обращена къ землѣ постоянно одной и той же половиной своей шарообразной фигуры, такъ что другая половина ея намъ постоянно невидима и т. д. Онъ ясно замѣтилъ даже колебанія луны, хотя и не въ состояніи былъ дать удовлетворительнаго ихъ объясненія.

Отъ луны онъ направилъ свой телескопъ на другіе предметы неба и прежде всего на млечный путь, гдѣ онъ увидѣлъ, что свѣтлый туманъ его происходитъ отъ безчисленнаго множества неподвижныхъ звѣздъ, которыя представляются намъ тѣсно скученными.

Вскорѣ послѣ этого планета Юпитеръ открыла ему новыя, еще большія чудеса. 7 января 1610 г. онъ замѣтилъ около нея три маленькія звѣздочки, лежавшія почти по прямой линіи; еще въ ту же ночь онъ увидѣлъ движеніе

двухъ изъ нихъ и тотчасъ же объявилъ, что это спутники Юпитера. Скоро потомъ онъ открылъ и четвертаго изъ нихъ. Замѣчательно, что онъ уже въ годъ открытія этихъ спутниковъ увидѣлъ, что они въ высшей степени годны для опредѣленія географическихъ долготъ. Онъ предложилъ эту идею испанскому королю, который имѣлъ въ это время самый большой флотъ; но важность ея не была признана, да она въ то время и не могла еще получить практическаго примѣненія, потому что не было надежныхъ морскихъ часовъ. Но всѣ эти важныя въ высшей степени открытія его сначала были принимаемы не охотно, или даже вовсе не принимались. Нѣкоторые считали эти явленія обманчивыми образами и оптическими обманами, которые произвелъ телескопъ; нѣкто Горкій написалъ противъ него книгу, въ которой утверждалъ, что онъ самъ направлялъ свой телескопъ на всѣ эти небесные предметы, но не видалъ ничего подобнаго тому, о чемъ говорилъ Галилей. Другой изъ противниковъ объявлялъ, что Галилей просто глупецъ, воображающій, что природа унизилась ради него, давъ Юпитеру четыре луны, для того, чтобы онъ могъ польстить своему покровителю. (Галилей хотѣлъ назвать эти четыре луны медицейскими звѣздами въ честь своего покровителя Медичи). Вскорѣ послѣ этого одинъ изъ противниковъ Галилея увидѣлъ около Юпитера пять такихъ спутниковъ, а другой, въ 1610 г., видѣлъ ихъ десять, что дало имъ обоимъ случай посмѣяться надъ близорукостью Галилея и т. д.

Обращая далѣе свой телескопъ на Сатурна, Галилей усмотрѣлъ, что эта планета находится въ связи съ другими меньшими планетами, находящимися на двухъ противоположныхъ сторонахъ ея. Сначала онъ опубликовалъ это открытіе, перестановивъ буквы въ словахъ; при извѣстной постановкѣ буквъ фраза была слѣдующая:

Altissimum Planetam tergeminum observavi (я видѣлъ крайнія планеты втрое).

Замѣчательно, что остроумный Галилей не могъ догадаться о дѣйствительномъ видѣ Сатурна, служащемъ при-

чиною этого явленія, хотя, нѣсколько лѣтъ спустя (вслѣдствіе измѣненія положенія кольца), обѣ боковыя планеты на нѣкоторое время исчезли. Это открытіе выпало на долю его великому послѣдователю Гюйгенсу, такъ какъ, вѣроятно, телескопъ Галилея былъ все-таки слабъ для этого.

Объ открытіи Галилеемъ фазъ Венеры и пятенъ солнца было уже говорено выше въ самомъ текстѣ, такъ же какъ и объ осужденіи его въ Римѣ главное было сказано въ первомъ томѣ. Мы добавимъ только слѣдующія подробности. — Первый и настоящій его обвинитель былъ Каччини въ 1615 г. Но Галилей такъ хорошо защищался, что признанъ былъ невиннымъ. Въ мартѣ 1616 г. онъ имѣлъ аудіенцію у папы Павла V, который обѣщалъ ему полную безопасность, если только онъ не будетъ больше обучать публично коперниковой системѣ. Галилей возвратился послѣ этого во Флоренцію. Нѣсколько позже онъ былъ снова представленъ въ Римѣ Урбану VIII, и былъ принятъ весьма милостиво. Въ 1632 г. онъ окончилъ свое сочиненіе «Діалоги о системахъ Птолемея и Коперника», въ которомъ изображались три вымышленныя лица: Сальвіати, послѣдователь Коперника, Сагредо, лицо участвующее въ разговорѣ, и Симплиціо, послѣдователь Птолемея; послѣдній совершенно разбитъ шутками и доводами двухъ первыхъ. Противъ этого сочиненія тотчасъ же возстали многіе изъ послѣдователей Аристотеля, а больше всѣхъ другихъ Сципіонъ Кьярамонти, профессоръ философіи въ Падуѣ. Урбану VIII показалось, что въ опроверженіяхъ Симплиціо повторяются нѣкоторыя изъ его собственныхъ прежнихъ возраженій противъ Галилея, что̀ и возстановило его противъ послѣдняго. Вслѣдствіе этого раздора Галилей, семидесятилѣтній и весьма хворый человѣкъ, былъ вызванъ въ Римъ, гдѣ онъ однако жилъ не въ тюрьмѣ, но во дворцѣ тосканскаго посланника Никколини. 20 іюня 1632 г. онъ былъ призванъ на судъ и 23 іюня того же года клятвенно отказался отъ своего прежняго взгляда на систему міра. Въ 1634 г.

онъ получилъ дозволеніе возвратиться въ Арчетри и иногда являться во Флоренцію, но подъ постояннымъ надзоромъ прежнихъ судей. Въ томъ же году умерла его дочь, которую онъ очень любилъ. Въ 1636 году онъ совершенно ослѣпъ и около этого же времени было окончено его сочиненіе «Діалоги о движеніи», на которое изъ боязни его преслѣдователей не нашлось издателей въ Италіи, пока наконецъ оно не было издано, нѣсколько позже, въ Амстердамѣ. Въ ноябрѣ 1641 г. 77-лѣтнимъ старикомъ овладѣло необыкновенное сердцебіеніе, отъ котораго онъ и умеръ черезъ два мѣсяца, 8 января 1642 г. Говорятъ, что онъ былъ очень живаго темперамента, легко раздражался, но также скоро и успокоивался. Любовь его къ родственникамъ, продолжавшаяся неизмѣнно съ юности до самой смерти, часто доводила его до бѣдности. Онъ былъ также извѣстенъ за большаго знатока живописи, музыки и поэзіи, а благородный и чистый слогъ его діалоговъ и теперь еще восхваляется его соотечественниками. Полное собраніе его сочиненій вышло въ Миланѣ въ 1811 г., въ 13 томахъ. Его любимѣйшій ученикъ Вивіани написалъ первую его біографію; позднѣе біографіи его написали Дринкватеръ и Нелли, Флоренція, 1821. Тѣло Галилея было погребено въ церкви Санта-Кроче во Флоренціи, гдѣ въ 1737 г. былъ воздвигнутъ ему великолѣпный памятникъ рядомъ съ памятникомъ Микель-Анджело.

Декартъ, Рене, (стр. 35), по латыни называемый Картезіемъ, родился 31 марта 1596 г. въ Ла-Ге въ Турени отъ благородной бретанской фамиліи и воспитывался въ іезуитской коллегіи въ Лафлешъ, гдѣ началась у него юношеская дружба съ Мерсенномъ, продолжавшаяся до его смерти. Онъ чувствовалъ, какъ самъ разсказывалъ, отвращеніе къ схоластической философіи своего времени и потому по выходѣ своемъ изъ коллегіи бросилъ всѣ книги и рѣшился искать себѣ новую дорогу въ области знанія. Уже тогда сдѣлалъ онъ свои прекрасныя геометрическія открытія; но не обнародовалъ ихъ до тѣхъ поръ, пока они

въ немъ не созрѣютъ окончательно. Такъ какъ онъ считалъ путешествіе наилучшимъ способомъ для пріобрѣтенія знаній, то и обратился къ самому сообразному съ тѣмъ временемъ и его положеніемъ средству посѣтить чужія страны, именно поступилъ въ военную службу въ 1616 г., и въ 1620 г. участвовалъ въ сраженіи при Прагѣ. Впослѣдствіи онъ оставилъ военную службу и путешествовалъ частнымъ человѣкомъ по Германіи, Голландіи, Франціи и Италіи, гдѣ онъ, кажется, нарочно не хотѣлъ посѣтить знаменитаго Галилея, противникомъ котораго онъ всегда былъ и впослѣдствіи. По окончаніи своихъ странствованій онъ продалъ свое имѣніе во Франціи и удалился въ 1629 г. въ Голландію, чтобы спокойно предаться своимъ занятіямъ. Здѣсь онъ написалъ свой «Traité du système du monde»; но, узнавъ о заключеніи въ тюрьму Галилея, онъ уничтожилъ это сочиненіе и впослѣдствіи объявилъ себя за систему Тихо Браге. Вскорѣ потомъ онъ велъ споры съ Робервалемъ, который несправедливо обвинялъ его въ ученомъ воровствѣ, и съ Ферматомъ, къ которому онъ, какъ кажется, былъ не совсѣмъ справедливъ. Послѣ долгихъ настояній своихъ друзей онъ рѣшился наконецъ издать свои открытія въ метафизикѣ и математикѣ, изъ которыхъ первымъ онъ придавалъ гораздо больше значенія, и потому, какъ самъ онъ говоритъ, онъ присоединилъ къ своему общему ученію о методѣ свою геометрію просто какъ легко и бѣгло обработанную главу. Но потомство судило объ этомъ совсѣмъ наоборотъ и онъ какъ геометръ извѣстенъ еще до сихъ поръ, а какъ метафизикъ почти забытъ. Въ математикѣ ему принадлежитъ та заслуга, что онъ ввелъ употребляющійся и до сихъ поръ способъ обозначенія степеней показателями и примѣнилъ алгебру къ геометріи, такъ что онъ можетъ считаться настоящимъ основателемъ аналитической геометріи. Онъ первый научилъ насъ выражать свойство кривой линіи уравненіемъ между ея координатами, что̀ больше чѣмъ всякое другое открытіе содѣйствовало успѣху математики и всѣхъ зависящихъ отъ

ней наукъ. Впрочемъ его геометрію трудно читать, такъ какъ онъ вѣроятно нарочно далъ ей мало обработанную форму.—Его діоптрика заключаетъ въ себѣ многія весьма остроумныя геометрическія примѣненія; но самое важное въ ней, т. е. законъ преломленія свѣтовыхъ лучей, онъ заимствовалъ, какъ по крайней мѣрѣ увѣряетъ Гюйгенсъ, не изъ своей собственной головы, но изъ рукописей голландца Снелля. Другое отдѣленіе его общаго ученія о методѣ содержитъ въ себѣ «Traité des Metéores», гдѣ онъ далъ полный просторъ своей фантазіи и въ то же время высказалъ истинную теорію радуги.

Самымъ важнымъ его сочиненіемъ, какъ обыкновенно считаютъ, были его «Начала философіи», появившіяся въ 1644 г. Это сочиненіе состоитъ изъ 4 книгъ. Первая заключаетъ въ себѣ метафизику, вторая «принципы природы вещей» или чисто фантастическую, совершенно неосновательную механику, наконецъ двѣ послѣднія книги излагаютъ его теорію міровой системы, въ которой представлена его извѣстная система вихрей. Эти вихри, которые, по его мнѣнію, обнимаютъ всѣ небесныя тѣла, образуются то изъ тонкой совершенно однородной матеріи, которую онъ называетъ первымъ элементомъ природы, то изъ весьма малыхъ шарообразныхъ частичекъ, то прорѣзываются безчисленными каналами во всѣхъ направленіяхъ, чтобы принимать и пропускать первые два элемента. Съ такими средствами онъ пытается объяснить всѣ явленія на небѣ и на землѣ и дѣлаетъ это иногда самымъ фантастическимъ образомъ.

Какъ уже замѣчено, онъ придавалъ большое значеніе своей метафизикѣ, которую онъ старается вывести изъ одного только принципа: cogito ergo sum, но въ которой фантазія очень часто дѣйствуетъ вмѣсто спокойнаго разсудка. Въ его отечествѣ, Франціи, эта философія имѣла быстрый и всеобщій успѣхъ, также точно, какъ на основаніи ея Малебраншъ построилъ свой мистическій спиритуализмъ, Беркелей—свой чистый идеализмъ и можетъ быть даже Спиноза—свой утонченный матеріализмъ. Хотя

онъ дѣйствовалъ осторожно и даже боязливо при объявленіи своихъ философемъ, однакожъ не могъ не нажить себѣ противниковъ и враговъ. Самымъ ярымъ изъ нихъ былъ Гисбертъ Воэтъ, профессоръ богословія въ реформатскомъ университетѣ въ Утрехтѣ, обвинявшій Декарта въ атеизмѣ и устроившій дѣло такъ, что ученіе его противника не было терпимо при университетѣ. Опроверженіе памфлета Воэта, которое Декартъ послалъ магистрату, было снова запрещено какъ книга оскорбительная для чести, и ея сочинитель, по требованію Воэта, былъ призванъ къ суду въ этомъ городѣ. Даже дѣятельное вмѣшательство герцогини орлеанской, которая ревностно приняла сторону преслѣдуемаго, не могло потушить ярость его враговъ. Послѣ долгихъ усилій Декартъ получилъ наконецъ полное оправданіе и Воэтъ, который сталъ теперь извѣстенъ публикѣ какъ сочинитель указаннаго псевдонимнаго памфлета, былъ пристыженъ и опозоренъ.

У него завязался было уже другой подобный споръ съ Лейденскими богословами, какъ вдругъ королева шведская Христина пригласила его къ своему двору, куда онъ тотчасъ же и отправился. По его просьбѣ онъ освобожденъ былъ отъ всѣхъ тягостей придворнаго церемоніала; но за это обязанъ былъ ежедневно въ 5 часовъ утра являться къ королевѣ въ ея библіотеку. Но его весьма ослабѣвшій организмъ уже не могъ выносить суроваго климата его новаго отечества. У него открылась грудная болѣзнь, обнаружившаяся бредомъ, и онъ умеръ 11 февраля 1650 г. на 54 году. Королева приказала поставить его гробъ между первыми фамиліями Швеціи, но французскій посланникъ потребовалъ его для Франціи и потому тѣло его въ 1666 г. было перевезено во Францію. Съ 1647 г. онъ получалъ отъ Франціи, черезъ министра Мазарини, ежегодный пансіонъ въ 3,000 ливровъ. Декартъ не былъ женатъ и оставилъ послѣ себя только побочную дочь, которая умерла въ молодости. Декарта хвалятъ за его мужественный характеръ, за его умѣренность и простоту. Полное собраніе его сочиненій явилось въ Амстердамѣ въ 1690—1701 и

потомъ снова въ 1713 въ IX томахъ. См. объ немъ похвальную рѣчь академика Томà 1705 г. и его біографію, написанную Беллье (Baillet), Парижъ 1691, въ двухъ томахъ.

Христіанъ Гюйгенсъ (стр. 53), изъ Цуйлихема, второй сынъ Константина Гюйгенса, секретаря принца Оранскаго, родился въ Гагѣ 14 апрѣля 1629. Его отецъ, человѣкъ зажиточный и научно-образованный, былъ его первымъ учителемъ музыки, математики и механики, къ которой сынъ съ малолѣтства выказывалъ большія способности. На 16-мъ году своей жизни онъ поступилъ въ Лейденскій университетъ, чтобы слушать курсъ правъ. Декартъ уже тогда публично выхвалялъ необыкновенный талантъ юноши къ математикѣ. Въ 1649 г., онъ, вмѣстѣ съ графомъ Нассаускимъ, сдѣлалъ путешествіе по нѣкоторымъ Европейскимъ странамъ. По его возвращеніи вышли въ свѣтъ первыя его сочиненія: «Теоремы квадратуры, гиперболы, эллипса и круга», Лейденъ 1654, и «Открытія о величинѣ круга», ibid. 1654. Въ 1655 г. онъ вмѣстѣ съ старшимъ своимъ братомъ занимался улучшеніемъ телескопныхъ объективовъ. Онъ приготовилъ телескопъ съ 12-футовымъ фокуснымъ разстояніемъ, съ помощью котораго онъ тотчасъ открылъ одного (шестаго) спутника Сатурна, о чемъ и издалъ небольшое сочиненіе (Гага 1656). Въ слѣдующемъ 1657 г. онъ окончилъ сочиненіе: «Приложеніе математики къ азартнымъ играмъ», достоинство котораго, 50 лѣтъ спустя, Яковъ Бернулли не могъ признать лучше, какъ напечатавъ его съ комментаріями, въ видѣ вступленія къ своему собственному «Ars conjectandi». Вскорѣ послѣ этого Гюйгенсъ занялся улучшеніемъ стѣнныхъ часовъ, настоящимъ совершенствомъ которыхъ мы обязаны ему. Уже въ 1657 г. онъ посвятилъ первые, улучшенные имъ часы генеральнымъ штатамъ и тутъ же предложилъ употреблять ихъ для опредѣленія географической долготы. Вскорѣ затѣмъ онъ устроилъ объективъ съ 23-хъ футовымъ фокуснымъ разстояніемъ, которымъ онъ превосходно и старательно наблюдалъ Сатур-

на. Съ помощью этого инструмента онъ открылъ замѣчательное кольцо этой планеты, котораго не могъ открыть Галилей вслѣдствіе слабости своего телескопа. Въ 1659 г. вышла въ свѣтъ его «Systema Saturnium», гдѣ онъ описалъ это и другія открытія, напр. туманъ въ Оріонѣ, полосы на Юпитерѣ и Марсѣ и т. д. Въ 1660 и 1663 гг. онъ ѣздилъ въ Парижъ и Лондонъ, чтобы лично познакомиться съ великими учеными этихъ столицъ. Въ 1665 г. онъ былъ приглашенъ Лудовикомъ XIV въ Парижъ членомъ вновь устроенной академіи наукъ, съ значительнымъ годовымъ окладомъ; тамъ онъ жилъ въ зданіи королевской библіотеки. Здѣсь написалъ онъ въ 1666 г. свою «Оптику». Въ 1670 г., вслѣдствіе разстроеннаго, усиленными работами, здоровья, онъ возвратился на нѣкоторое время въ Гагу, но вскорѣ снова пріѣхалъ въ Парижъ, гдѣ въ 1673 г. издалъ свое знаменитое сочиненіе: «Horologium oscillatorium». Въ этомъ сочиненіи онъ изложилъ не только всѣ свои практическія улучшенія этихъ инструментовъ (часовъ), но и украсилъ его остроумнѣйшими соображеніями высшей геометріи, своими новыми теоріями эволютовъ, равномѣрныхъ кривыхъ, центровъ колебанія и т. д. Въ томъ же сочиненіи онъ излагаетъ дѣйствительное измѣреніе земнаго тяготѣнія посредствомъ длины секунднаго маятника и въ тоже время выводитъ изъ того же источника неизмѣнную мѣру всѣхъ долготъ. Заключеніе всего составляютъ его знаменитыя теоремы центробѣжной силы при круговомъ движеніи. — Ему же мы обязаны первымъ и важнымъ улучшеніемъ карманныхъ или пружинныхъ часовъ, такъ какъ онъ изобрѣлъ спираль, безъ которой эти часы не могли бы никогда достичь совершенства. Разстроивъ свое здоровье вслѣдствіе вышеупомянутыхъ и многихъ другихъ научныхъ работъ, онъ рѣшился, въ 1681 г., навсегда покинуть Францію и возвратиться въ свой отечественный городъ, чему также много способствовало уничтоженіе Нантскаго эдикта. Въ Гагѣ онъ успѣшно занимался устройствомъ планетаріума, машины, съ помощью которой онъ хотѣлъ представить

движеніе всѣхъ тѣлъ нашей солнечной системы, причемъ онъ былъ наведенъ на интересное развитіе непрерывныхъ дробей. Онъ приготовлялъ, также какъ и прежде, вмѣстѣ съ братомъ Константиномъ телескопные объективы; онъ изготовилъ нѣсколько съ 160-футовыми, а одинъ объективъ съ 210-футовымъ фокуснымъ разстояніемъ. Около 1690 г. его занимали важныя изслѣдованія двойнаго преломленія свѣта въ известковомъ шпатѣ и дѣйствительнаго вида земли. Въ началѣ 1695 г. онъ сильно заболѣлъ; его умственныя силы быстро ослабѣвали и онъ имѣлъ только возможность распорядиться своимъ имуществомъ и оставшимися рукописями; послѣднія онъ оставилъ Лейденской библіотекѣ. Вскорѣ послѣ этого онъ умеръ въ Гагѣ 8 іюля 1695 года, 76 лѣтъ отъ роду. Онъ никогда не былъ женатъ и жилъ уединенно, занимаясь всего больше своими работами. Три года спустя послѣ его смерти вышелъ въ свѣтъ его «Kosmotheoros» или предположенія о физическихъ свойствахъ и жителяхъ планетъ. Полное собраніе его сочиненій было издано с'Гравезандомъ въ Лейденѣ и Амстердамѣ въ 1728.

Паскаль (стр 71), одинъ изъ величайшихъ геометровъ и вообще одинъ изъ замѣчательнѣйшихъ французскихъ писателей, родился 19 іюня 1623 г., въ Клермонѣ въ Оверни. Его отецъ, человѣкъ хорошо образованный, былъ президентомъ въ Cour des aides въ Клермонѣ; онъ самъ взялъ на себя первое воспитаніе единственнаго своего сына, съ которымъ онъ переселился въ 1631 г. въ Парижъ. Тамъ онъ жилъ въ сообществѣ съ лучшими парижскими умами, съ Мерсенномъ, Робервалемъ, Каркави и другими. Частыя собранія этихъ людей въ домѣ Паскаля положили первое основаніе образовавшейся въ скоромъ времени Парижской академіи наукъ. Первое сочиненіе Паскаля о свойствахъ звука было написано по поводу того опыта, что звукъ, произведенный ударомъ по фарфоровой чашкѣ, мгновенно пропадалъ отъ прикосновенія къ ней пальцами. Паскалю было въ то время едва двѣ-

надцать лѣтъ, какъ разсказываетъ его сестра г-жа Перрье, написавшая біографію своего брата. Такъ какъ отецъ Паскаля, по крайней мѣрѣ въ началѣ, хотѣлъ, чтобы сынъ его занимался больше древними языками и изящной литературой, то свои занятія математикой, къ которой онъ съ юношескихъ лѣтъ имѣлъ большую наклонность, онъ принужденъ былъ вести въ тайнѣ и при помощи небольшаго числа книгъ. На шестнадцатомъ году своей жизни онъ, говорятъ, уже написалъ прекрасное сочиненіе о коническихъ сѣченіяхъ, получившее безпристрастное одобреніе Декарта. Но уже на осьмнадцатомъ году онъ разстроилъ свое здоровье слишкомъ усидчивыми юношескими занятіями. Около того же времени онъ изобрѣлъ многія машины, обратившія на себя большое вниманіе. Съ двадцать третьимъ годомъ его жизни совпадаютъ его барометрическія наблюденія горныхъ высотъ. Въ 1649 г. появилось его знаменитое сочиненіе о циклоидѣ; около 1653 г. онъ занимался свойствами чиселъ и теоріею вѣроятностей и часто въ нѣсколько минутъ разрѣшалъ трудныя задачи, надъ которыми другіе работали цѣлые мѣсяцы, хотя здоровье его въ это время очень страдало. Вѣроятно это болѣзненное состояніе было причиною его строгой аскетической жизни и довело его наконецъ до полнѣйшаго отреченія отъ свѣта. Въ 1653 г. онъ переселился въ свое новое жилище, знаменитое аббатство Port Royal, гдѣ онъ жилъ вблизи своихъ друзей Арно, Николя, Ланседо и другихъ янсенистовъ. Въ 1656 г. появились его письма противъ молинистовъ: «Les Provinciales», прекрасныя по содержанію и слогу и выдержавшія болѣе шестидесяти изданій. Его «Pensées sur la religion» появились въ Амстердамѣ въ 1692, спустя уже тридцать лѣтъ послѣ его смерти. Съ 1659 г. онъ страдалъ смертельною болѣзнью, отъ которой и умеръ 29 августа 1662 г. на тридцать девятомъ году своей жизни. Его «Oeuvres complètes» изданы Боссю (Парижъ 1779 г., а новое изданіе въ 1819 г. въ 5 томахъ). Новѣйшія изданія его сочиненій сдѣланы Лемерсье, Парижъ 1830.

Д'Аламберъ, Жанъ Лерондъ, (стр. 128) найденъ былъ 17 ноября 1717 г. подброшеннымъ подлѣ церкви Жанъ Лерондъ и отданъ на воспитаніе поденьщицѣ. Его отецъ, самъ открывшій себя впослѣдствіи и давшій ребенку еще ежегодную пожизненную ренту въ 1,200 ливровъ, былъ артиллерійскій коммиссаръ Детушъ, а мать—извѣстная своей красотою и умомъ госпожа Тансенъ. Такъ какъ онъ съ юныхъ лѣтъ обратился къ янсенизму, то первыя его сочиненія были богословскаго содержанія. Однако онъ скоро обратилъ всѣ свои силы на математическія занятія. Вслѣдствіе этого онъ разошелся съ янсенистами, оставилъ ихъ общество и возвратился въ 1732 г. къ своей кормилицѣ, съ которой и прожилъ уединенно сорокъ лѣтъ, преданный наукамъ. По совѣту своихъ друзей и чтобы обезпечить свою будущность онъ изучалъ права и такъ какъ они ему не нравились, то онъ перешелъ къ медицинѣ и наконецъ снова перешелъ къ математическимъ занятіямъ, которымъ остался вѣренъ до конца своей жизни. Въ 1741 г. онъ былъ сдѣланъ членомъ Парижской академіи наукъ. Въ 1743 г. онъ издалъ свой знаменитый «Traité de Dynamique», гдѣ онъ ученіе о движеніи свелъ къ ученію о равновѣсіи и изобрѣлъ уравненія (вторыя дифференціальныя), которыя дали механикѣ совершенно новый видъ. Въ 1744 г. онъ примѣнилъ тотъ же принципъ къ движеніямъ жидкостей, а въ 1746 г. явилась его «Теорія вѣтровъ», гдѣ онъ впервые употребилъ вычисленія съ частичными дифференціалами, которыми онъ въ 1747 г. воспользовался съ еще болѣе блестящимъ успѣхомъ въ теоріи дрожащихъ струнъ. Вслѣдствіе этого онъ пришелъ къ мысли ввести произвольныя функціи, которыя составили новую эпоху въ математикѣ, подобно тому какъ прежде упомянутое выше второе дифференціальное уравненіе составило эпоху въ механикѣ. Въ 1749 г. онъ первый разрѣшилъ трудную проблему движенія твердаго тѣла, имѣющаго опредѣленный видъ, которую онъ тотчасъ же примѣнилъ къ теоретическому опредѣленію предваренія равноденствій. Съ 1752 г. онъ помѣстилъ много за-

мѣчательныхъ статей въ мемуарахъ Берлинской академіи, преимущественно объ интегральномъ исчисленіи и о концахъ и точкахъ перегиба кривыхъ. Изъ-за этого послѣдняго предмета, также какъ и изъ-за его произвольныхъ функцій, завязался у него споръ съ Эйлеромъ. Такой же споръ онъ долженъ былъ выдержать по поводу новаго метода интегрировать линейныя и дифференціальныя уравненія какой угодно степени, которыя и теперь считаются ключемъ къ разрѣшенію весьма многихъ высшихъ вопросовъ въ астрономіи и физикѣ. Онъ жилъ въ своемъ отечествѣ почти бѣдно, пока Фридрихъ II не почтилъ его своей дружбой, послѣ чего онъ, по ходатайству министра д'Аржансона, сталъ получать жалованье отъ французскаго правительства. Около этого времени Дидро, умъ котораго обнималъ всѣ отрасли литературы, сдѣлалъ ему предложеніе перевести англійскую Энциклопедію, надѣлавшую тогда много шуму. Это предложеніе навело его на мысль самому ему составить подобное произведеніе, которое заключало бы въ себѣ все достойное знаніе съ древнѣйшихъ временъ и до его времени. Съ этою цѣлью Дидро соединился съ д'Аламберомъ и оба они могутъ считаться авторами этого великаго произведенія. Мастерское введеніе къ этому богатому содержаніемъ изданію все написано д'Аламберомъ. Его «Изслѣдованія о различныхъ важныхъ пунктахъ міровой системы», въ которыхъ онъ преимущественно старался усовершенствовать знаменитую проблему трехъ тѣлъ, были причиною споровъ съ Эйлеромъ и Клеро, изъ которыхъ съ послѣднимъ онъ совершенно разошелся по поводу ихъ общихъ изслѣдованій о видѣ земли. Въ 1756 г. онъ сдѣланъ былъ пансіонеромъ королевской парижской академіи съ значительнымъ содержаніемъ вопреки желанію многихъ сочленовъ этого общества, которые называли такое отличіе необыкновеннымъ и могущимъ повлечь за собою дурныя послѣдствія. Но Камюсъ устранилъ возраженіе ихъ замѣчаніемъ, что впослѣдствіи всѣ такія чрезвычайныя заслуги будутъ награждаться подобными чрезвычайными отличіями. Около

этого времени явились его «Mélanges de philosophie» и его «Essai sur les gens de Lettres», такъ же какъ и его переводъ сочиненій Тацита. Въ 1759 г. онъ издалъ свои «Элементы философіи», родъ популярной книги для образованныхъ людей, которая отличалась своимъ содержаніемъ, изложеніемъ и блестящимъ стилемъ. Эти сочиненія, а еще болѣе его статьи въ Энциклопедіи, вооружили противъ него многихъ и даже навлекли на него преслѣдованія. Чтобы дать ему необходимый покой отъ нападеній его враговъ, Фридрихъ II предлагалъ ему въ 1763 г. президенство въ Берлинской академіи съ значительнымъ содержаніемъ, но онъ отклонилъ это предложеніе, желая оставаться въ своемъ отечествѣ. Вскорѣ затѣмъ Екатерина II хотѣла поручить ему воспитаніе своего сына Павла и предлагала ему самыя блестящія условія; но онъ не согласился и на это. Въ 1765 г. явилось его сочиненіе объ іезуитахъ, которое вовлекло его въ новые споры и возбудило противъ него еще новую вражду. Его «Opuscules Mathématiques», надъ которыми онъ работалъ отъ 1761 до 1780 гг., содержатъ въ себѣ множество важнѣйшихъ изслѣдованій по математикѣ и механикѣ, часто только набросанныхъ въ общихъ очеркахъ, или закаленныхъ цѣлымъ лѣсомъ математическихъ формулъ, которыя нуждались еще въ послѣдней окончательной отдѣлкѣ. Его многочисленныя математическія работы, о которыхъ свидѣтельствуютъ его тоже многочисленныя статьи, напечатанныя въ мемуарахъ разныхъ академій, не прерывались ни его многими другими дѣлами и развлеченіями, ни слабостями и болѣзнями его возраста. Сочиненія, явившіяся незадолго передъ его смертью, свидѣтельствуютъ о нисколько не ослабѣвшей силѣ и проницательности его ума. Хотя онъ часто высказывалъ, что внѣ области математики онъ не находитъ нигдѣ реальной истины, тѣмъ не менѣе онъ всегда охотно занимался изящной литературой и философіей. Его прекрасная литературная манера и стиль прославили его въ обширномъ кругу читателей и онъ часто, въ торжественныхъ собраніяхъ академіи, говорилъ

рѣчи. Въ 1772 г. онъ сдѣланъ былъ секретаремъ французской академіи, гдѣ онъ составилъ біографіи и обыкновенныя похвальныя слова всѣмъ академикамъ отъ начала столѣтія. Эти произведенія его и до сихъ поръ считаются образцами въ своемъ родѣ. Его математическіе друзья говорили о немъ постоянно съ величайшимъ уваженіемъ, и Лагранжъ ему былъ обязанъ своимъ мѣстомъ президента Берлинской академіи. Его благотворительность была общеизвѣстна, и онъ часто отдавалъ бѣднымъ даже и то, въ чемъ самъ нуждался. Для друзей его рука и домъ были всегда открыты, и онъ часто приносилъ въ жертву имъ даже то, что̀ было для него самаго дорогаго, т. е. время и работу. Талантливые юноши всегда находили въ немъ вѣрную поддержку, и въ послѣдніе годы своей жизни онъ особенно любилъ проводить время въ ихъ обществѣ. Его живость и его остроты, часто ѣдкія, но никогда неоскорбительныя, дѣлали его любимцемъ всѣхъ обществъ, которыя онъ всегда умѣлъ развеселять своимъ рѣдкимъ даромъ разсказа. Въ послѣдніе годы съ нимъ часто случалась болѣзненная раздражительность, которая однако не разрушала его обыкновеннаго добродушія. Послѣ того какъ онъ прожилъ 40 лѣтъ вмѣстѣ съ своей первой воспитательницей, только упадокъ силъ заставилъ его выбрать себѣ другое мѣсто для жительства. Однако и послѣ этого онъ еженедѣльно два раза посѣщалъ свою старую пріятельницу и помогалъ ей до самой смерти. Онъ переселился къ остроумной и любезной дамѣ, въ домъ которой собирались замѣчательнѣйшіе люди Франціи, для того большею частію, чтобы видѣть его и бесѣдовать съ нимъ. При своемъ слабомъ сложеніи, онъ въ послѣднее время поддерживалъ себя только строгой діэтой и строгостью во всемъ образѣ жизни. Изъ всѣхъ наслажденій жизни онъ зналъ кажется два: трудъ и бесѣду; да и послѣдняя къ концу жизни перестала нравиться ему, такъ что онъ въ самомъ веселомъ обществѣ долгое время просиживалъ не говоря ни слова и погруженный въ себя. Онъ умеръ 29 октября 1783 г. Вотъ его главнѣйшія математическія сочине-

нія, исключая его многочисленныхъ мемуаровъ: «Traité de Dynamique», 1743, и третье изданіе 1796; «Traité de l'equilibre et de mouvement des fluides», 1744, и второе изд. 1770; «Réflexions sur la cause des vents», 1774; «Recherches sur la précession des équinoxes», 1749; «Nouvelle théorie sur la resistance de fluides» 1752; «Recherches sur différens points importans du système du monde», III vol. 1754; «Nouvelles tables de la lune» и «Opuscules mathématiques», VIII vol. 1761—1780.

Лейбницъ, Готтфридъ Вильгельмъ, баронъ (стр. 175), родился 3 іюля 1646 г въ Лейпцигѣ, гдѣ отецъ его былъ профессоромъ права. До двадцати пяти лѣтъ онъ занимался преимущественно юридическими и философскими предметами: но въ 1672 г. онъ сопровождалъ молодаго Бойнебурга въ Парижъ и Лондонъ, гдѣ познакомился съ замѣчательнѣйшими математиками обѣихъ столицъ и гдѣ въ то время математика была однимъ изъ главнѣйшихъ предметовъ изученія. Въ 1676 г. онъ вступилъ въ ганноверскую службу въ качествѣ библіотекаря и исторіографа страны. Въ 1700 г. курфирстъ бранденбургскій, впослѣдствіи король прусскій Фридрихъ назначилъ его президентомъ основанной имъ тогда Берлинской академіи. Императоры Карлъ VI и Петръ Великій также осыпали его милостями. Онъ умеръ 14 ноября 1716 г. въ Ганноверѣ. Его чрезвычайно обширная ученость, его высокій талантъ къ математикѣ и философіи и его неутомимая дѣятельность признаются всѣми. Его философію (раціонализмъ и оптимизмъ) изложилъ въ свое время Лудовици: «Vollständige Historie der Leibnitzschen Philosophie», Leipz 1737. О его заслугахъ въ математикѣ, особенно объ открытіи дифференціальнаго исчисленія, см. Bossut, «Hist. des Mathématiques», Paris, 1810, vol. II, стр. 62 и слѣд Главнѣйшіе труды Лейбница: «Théodicée ou sur la bonté de Dieu»; «Scriptores rerum Brunsvicensium»; «Codex juris gentium diplomaticus» и др. Его отдѣльныя статьи, большей частью математическія, находятся въ «Acta erudito-

rum Lipsiensium» и въ «Miscellanea Berol.» Собраніе его сочиненій издано Дутенсомъ (Женева, 1768, 6 томовъ). Философскія сочиненія Лейбница издалъ Распе, Амстердамъ, 1765. О жизни его писали Эккардъ (въ «Murr's Journal der Kunstgeschichte», t. VII), далѣе Лампрехтъ (Berl. 1740), Реберrъ (въ «Hannov. Magazin» за 1787) и Эбергардъ (въ «Pantheon der Deutschen», t. VII).

[Въ новѣйшей литературѣ мы укажемъ изъ біографій книгу Гурауэра (Guhrauer: «Gottfr. Wilh. v. Leibnitz», Bresl. 1845, 2 тома); оцѣнку историческаго значенія дѣятельности Лейбница у Геттнера («Literaturgesch. des XVIII Jahrh.» III, 1, 115—143), Бидермана («Deutschland im XVIII Jahrh.» II, 1, 211—273) и др. Новое собраніе философскихъ сочиненій Лейбница сдѣлано Эрдманомъ (Берл. 1840); о значеніи его философіи—L. Feuerbach: «Darstellung, Entwickelung und Kritik der Leibnitzschen Philosophie», Ansb. 1837 и въ другихъ книгахъ объ исторіи философіи].

Академіи (стр. 180). Считаемъ необходимымъ сообщить нѣсколько замѣчаній о происхожденіи академій наукъ въ Лондонѣ и Парижѣ. По указанію Бакона и по примѣру Галилея и Торричелли, многіе ученые люди въ Англіи въ половинѣ XVII столѣтія также вступали на новый путь изслѣдованія тайнъ природы посредствомъ наблюденій и опытовъ. Изъ нихъ въ 1645 г. Вилькинзъ, Энтъ, Глиссонъ, Фостеръ, Сетуардъ рѣшились постоянно и правильно собираться въ домѣ Годдарта въ Лондонѣ для бесѣдъ о предметахъ естественныхъ наукъ. Съ 1659 г. они держали свои собранія въ Gresham College, гдѣ къ нимъ присоединились еще Христофъ Ренъ (Wren), Валлисъ и Брункеръ. Когда восшествіе на престолъ Карла II въ 1660 г. подало надежду на продолжительный миръ, тогда этотъ частный кружокъ составилъ изъ себя общество, организованное по извѣстнымъ правиламъ. Каждый членъ вносилъ, при своемъ вступленіи въ общество, $1/4$ фунта стерл. и потомъ дѣлалъ еженедѣльный взносъ въ шил-

лингъ. Вилькинзъ былъ президентомъ, Балле казначеемъ, Крунъ секретаремъ и т. д. Между членами, кромѣ названныхъ выше лицъ, находились еще Гаттонъ, Робертъ Бойль, Ольденбургъ, Гукъ, Эвелинъ, Сандвичъ, Морей, Дигби, Валлисъ и Ашмоль. Засѣданія производились однажды въ недѣлю въ Gresham College, гдѣ вмѣстѣ съ тѣмъ учреждены были библіотека и собраніе инструментовъ. Новое общество своею дѣятельностію скоро пріобрѣло себѣ такой почетъ, что въ него желали поступить люди изъ высшихъ сословій. Карлъ II, обративши вниманіе на это ученое общество вслѣдствіе указанія Морея, въ засѣданіи 5 декабря 1660 г. приказалъ выразить ему свое благоволеніе и обѣщаніе королевскаго покровительства. 15 іюля 1662 г. онъ далъ ему королевскую грамоту (Charter) и титулъ Королевскаго Общества съ правомъ пользоваться недвижимыми имуществами, привилегіями и собственную подсудность. Новымъ президентомъ его былъ сдѣланъ Брункеръ, казначеемъ Балле и секретарями Вилькинзъ и Ольденбургъ. Но внутренняя организація его оставалась вообще неизмѣнной; а кругъ дѣйствій общества былъ расширенъ новой королевской привилегіей 15 октября 1662 г., по которой всѣ физическія или механическія открытія должны были представляться на ея разсмотрѣніе; въ то же время оно получило твердое и почетное положеніе относительно администраціи, наприм. въ дѣлѣ расширенія мореплаванія страны. Въ началѣ 1663 г. Боклэндъ, землевладѣлецъ въ Соммерсетширѣ, сдѣлалъ предложеніе ввести повсюду въ Англіи разведеніе картофеля, чтобы этимъ предотвратить въ будущемъ возможность голода. Предложеніе это было одобрено академіей въ засѣданіи 18 марта 1663 г. и клубни этого благодѣтельнаго растенія были розданы членамъ общества для разведенія. 14 апрѣля того же года Карлъ II, принимавшій особенное участіе въ успѣхахъ академіи, далъ ей новую грамоту на еще болѣе широкія привилегіи и право на королевскія земли въ Ирландіи. Число ея членовъ возрасло теперь до 115, между которыми было 13 духовныхъ и

свѣтскихъ перовъ королевства и много другихъ лицъ изъ высшаго дворянства страны, которое, понимая свое назначеніе, старалось подавать другимъ сословіямъ примѣръ любви къ познаніямъ и уваженія къ наукамъ. Въ 1664 г. внутренняя организація общества была болѣе приспособлена къ новымъ цѣлямъ его и теперь были приняты въ него членами многіе иностранные ученые, какъ напримѣръ Гюйгенсъ въ Голландіи, Сорбьеръ въ Парижѣ, Гевеліусъ въ Данцигѣ и другіе. Въ томъ же году оно получило отъ короля въ подарокъ большой Chelsea College-house, прежде бывшій монастырь. 9 января 1665 г. Королевское Общество было почтено посѣщеніемъ короля Карла II въ сопровожденіи герцога Іоркскаго (впослѣдствіи король Іаковъ II) и герцога Альбемарля (генералъ Монкъ). Король и его спутники вписали свои имена въ особо назначенную для этого книгу—первый какъ основатель, послѣдніе какъ члены общества. Послѣ этого рѣшено было, что общество будетъ издавать свои «Philosophical Transactions». Болѣе подробныя свѣдѣнія о первыхъ ученыхъ работахъ этого ученаго общества находятся въ Birch, «History of the Royal Society of London». Lond. 1756. 4 тома in quarto, и краткое извлеченіе изъ этого сочиненія, графа Маршалля, въ «Zeitschrift für Physik» Баумгартнера. Вѣна 1837, выпуски 5—6.

Подобное же начало имѣла и академія наукъ въ Парижѣ. По старанію министра Кольбера Людовикъ XIV дозволилъ въ 1666 г. учрежденіе общества ученыхъ въ Парижѣ по примѣру того, какое за нѣсколько лѣтъ прежде устроилось при Карлѣ II. И это парижское общество также считалось сначала частнымъ обществомъ и королевское покровительство дано было ему только въ 1699 г. Между тѣмъ, по предложенію Кольбера, были призваны въ Парижъ, чтобы быть членами этого ученаго общества, Кассини изъ Рима, Гюйгенсъ изъ Голландіи и Ремеръ изъ Даніи. Для Кассини еще до его прибытія устроена была новая обсерваторія, которую онъ нашелъ весьма роскошною, но несоотвѣтствующею цѣли. Онъ началъ въ

1669 г. большое измѣреніе Франціи въ сообществѣ съ Пикаромъ, которое Лагиръ продолжалъ къ сѣверу въ 1683 г., а младшій Кассини въ 1700 г. довелъ до Руссильона. Только въ новѣйшее время оно было кончено Деламбромъ, Мешеномъ и Біо и распространено на всю страну. Изъ нѣдръ этого ученаго общества вышли физики, которые въ 1672 г. посредствомъ наблюденій надъ маятникомъ въ Кайенѣ опредѣлили сплюснутость земли; и въ 1700 г. Турнефоръ отправился въ Левантъ, чтобы изъ собранныхъ тамъ растеній завести въ Парижѣ Jardin royal, бывшій первымъ ботаническимъ садомъ въ Европѣ. Уже въ 1665 г. возникъ знаменитый «Journal des savants», самый ранній и въ теченіе цѣлаго слѣдующаго столѣтія самый знаменитый ученый журналъ. Съ 1699 г., когда это общество сдѣлалось собственно Королевской академіей, являлся ежегодно томъ его мемуаровъ до 1793 г., когда оно, также какъ и всѣ другія ученыя заведенія Франціи, было уничтожено республиканцами, и на его мѣсто явился «Національный Институтъ». Наполеонъ въ 1802 г. далъ ему новое устройство и большій блескъ; но Людовикъ XVIII старался въ 1816 г. снова поставить его на старую ногу. Этотъ Institut, или Académie Royale, состоитъ теперь изъ пяти отдѣленій. Первое называется Académie des Sciences и занимается математикой, астрономіей, физикой и вообще такъ-называемыми естественными науками. Оно имѣетъ 65 ординарныхъ членовъ и 100 членовъ корреспондентовъ. Второе отдѣленіе или Académie Française занимается литературой и исторіей и состоитъ изъ 40 членовъ; третье отдѣленіе или Académie des Inscriptions et belles lettres имѣетъ 40 членовъ; четвертое отдѣленіе или Académie des beaux arts имѣетъ 41 членъ, а пятое или Académie des sciences morales et politiques 30 членовъ. Каждый ординарный членъ получаетъ ежегодно 1500 франковъ жалованья, и каждое изъ 5 отдѣленій имѣетъ еженедѣльно собраніе своихъ членовъ.

Королевская академія наукъ въ Берлинѣ была основана Фридрихомъ I въ 1700 г., по старанію Лейбница, ко-



торый и былъ первымъ ея президентомъ. Въ 1744 г. Фридрихъ II, принявшій ее подъ свое особенное покровительство, далъ ей новую организацію. Съ 1746 г. правильно является ежегодно томъ ея трудовъ.—Королевская академія наукъ въ Геттингенѣ была основана въ 1733 г.; академія въ Мюнхенѣ въ 1760 и въ Мангеймѣ въ 1755. Также и въ Вѣнѣ образовалось подобное ученое общество, которое въ правленіе Леопольда I получило названіе Academia Caesareo-Leopoldina. Ея труды стали издаваться съ 1684 г. подъ заглавіемъ: «Acta academiae caesareae naturae curiosorum».

Проектъ основанія академіи наукъ въ Петербургѣ былъ принятъ Петромъ Великимъ, по старанію Лейбница и Вольфа, но приведенъ въ исполненіе тотчасъ послѣ его смерти Екатериной I въ 1726 г. Елисавета дала ей въ 1741 г. новое лучшее устройство и съ тѣхъ поръ она, наравнѣ съ академіями въ Парижѣ, Лондонѣ и Берлинѣ, стоитъ въ первомъ ряду европейскихъ учрежденій этого рода.

Итальянцы еще раньше имѣли много небольшихъ учрежденій этого рода, такъ что почти въ каждомъ городѣ было ученое общество или даже нѣсколько ихъ. Ярке, въ своей исторіи этихъ академій (Лейпцигъ 1725), насчитываетъ ихъ около 600. Сюда относятся наприм. Academia platonica, основанная въ 1474 г. Лоренцомъ Медичи, главнѣйшею цѣлью которой было изученіе сочиненій Платона и членами которой были между прочимъ Марсилій Фицинъ, Пикъ Мирандола, Макіавелли, Анджело Полиціано и др. Въ 1560 г. въ Неаполѣ основалась Academia secretorum naturae; въ Римѣ въ 1609 г. Academia dei Lyncei; во Флоренціи въ 1582 г. Academia della Crusca и въ 1765 г. Academia del Cimento, т. е. опытовъ; членами послѣдней были Борелли, Вивіани и др. Многія изъ этихъ итальянскихъ академій отличались странными названіями, какъ напр. уже упомянутая Academia della Crusca, т. е. академія отрубей, главная цѣль которой состояла въ томъ, чтобы очищать итальянскій языкъ отъ ошибокъ, какъ

очищаютъ муку отъ отрубей. Академія Перуджіи въ Церковной области называлась Acad. degli incensati; также были академіи: Anxiorum, Confusorum, Agitatorum, Humidorum, Insipidorum, Mortuorum, академіи сонливыхъ, возбужденныхъ, недовольныхъ, нерѣшительныхъ, отчаянныхъ, фантастическихъ, диссонантовъ, фульминантовъ, бродягъ и т. д. Свѣдѣнія объ этихъ, теперь почти совершенно уничтожившихся учрежденіяхъ находятся въ «Library of useful Knowledge», въ «Polyhistor» Моргофа и въ «Storia della letteratura italiana» Тирабоски. Между существующими теперь итальянскими академіями замѣчательнѣйшія: академія наукъ и изящныхъ искусствъ въ Неаполѣ, основанная въ 1779 г.; Геркуланская академія въ Неаполѣ, существующая съ 1755 г.; академія въ Болоньѣ съ 1690 г.; академія въ Туринѣ съ 1759 г., возникшая первоначально изъ частнаго кружка, душою котораго былъ Лагранжъ; затѣмъ академіи въ Миланѣ, Падуѣ, Сіенѣ, Веронѣ и Генуѣ.

Ньютонъ, Исаакъ (стр. 192), родился 25 декабря 1642 г. въ Вульсторпѣ, небольшомъ мѣстечкѣ въ Линкольнширѣ, отъ очень бѣдныхъ родителей. Крошечный видъ и слабость новорожденнаго не давали надежды на то, что онъ долго проживетъ. Но судьба рѣшила иначе; и этотъ хрупкій сосудъ, который повидимому едва способенъ былъ воспринять предназначенную для него душу, достигъ мужественной зрѣлости и, среди занятій, которыя всякаго другаго истощили бы преждевременно, дожилъ до глубокой старости въ совершенномъ и почти непрерывномъ здоровьѣ.—На 12 г. онъ поступилъ въ городскую школу въ Грантамѣ, гдѣ онъ не считался ни прилежнымъ, ни талантливымъ, и поэтому долженъ былъ занимать мѣсто между послѣдними учениками этой школы. Но однажды онъ получилъ отъ одного мальчика, который считался первымъ въ школѣ, сильный ударъ въ животъ и долго послѣ этого чувствовалъ боль. Чтобы отмстить своему обидчику, который былъ гораздо сильнѣе его, другимъ

способомъ, онъ началъ съ этого времени заниматься весьма прилежно, чтобы отнять у него первое мѣсто въ школѣ. Въ нѣсколько недѣль онъ достигъ своей цѣли и удержалъ первое мѣсто на все послѣдующее время. Этотъ случай возбудилъ въ немъ любовь къ труду и теперь быстро развились всѣ основныя черты его характера.

Въ свободные часы онъ занимался преимущественно механическими работами, — устроивалъ вѣтряныя мельницы, водяные и солнечные часы и т. п. Уже тогда онъ любилъ уединеніе и самозаключенность, и не принималъ большаго участія въ шумныхъ играхъ своихъ товарищей. Скоро онъ познакомился съ одной дѣвочкой, миссъ Горрей, дочерью врача, общество которой онъ предпочиталъ всѣмъ другимъ и для которой устроивалъ маленькіе столы, шкафы и ящички для ея женскихъ рукодѣлій. На 16 г., когда онъ долженъ былъ оставить это мѣсто, его дружба къ этой дѣвочкѣ превратилась въ сильное сердечное расположеніе. Но оба они были слишкомъ бѣдны, чтобы предаваться надеждамъ на будущее и думать о болѣе тѣсной связи. Впослѣдствіи она вышла за другаго и дожила до 82 лѣтъ. Но Ньютонъ сохранилъ къ ней уваженіе до конца ея жизни, посѣщалъ ее правильно всякій разъ, какъ только ему случалось быть въ мѣстѣ ея жительства, и дружески старался помогать ей въ ея маленькихъ экономическихъ затрудненіяхъ, которыя часто ее преслѣдовали. Мать его взяла его назадъ въ Вульсторпъ, чтобы онъ помогалъ ей въ ея сельскихъ занятіяхъ. Здѣсь онъ долженъ былъ между прочимъ каждую субботу, въ сопровожденіи своего вѣрнаго слуги, отправляться въ сосѣдній городъ Грантамъ на рынокъ, чтобы покупать тамъ жизненные припасы и при этомъ нерѣдко возбуждалъ неудовольствіе матери; такъ какъ Ньютонъ больше занимался старыми книгами, которыя онъ получалъ отъ одного знакомаго аптекаря въ этомъ городѣ, чѣмъ товарами, которые онъ долженъ былъ покупать и продавать на рынкѣ. Не лучше шли въ его рукахъ и прочія занятія сельской жизни. Книга или машина были для него гораздо пріятнѣе, чѣмъ

тѣ дѣла, которыми онъ долженъ былъ заниматься по порученію матери, и часто видали наприм., что онъ, какъ мечтатель, бродитъ задумавшись и сложивши руки, по полямъ, между тѣмъ какъ овцы, которыхъ онъ долженъ былъ пасти, разбѣгались въ стороны по лугу, или же опустошали хлѣбныя поля. Вслѣдствіе этого мать пришла къ убѣжденію, что ея сынъ не годится ни на что; и такъ какъ она была слишкомъ бѣдна, чтобы обратить его на какія-либо другія занятія, то онъ былъ бы совсѣмъ заброшенъ, еслибы объ немъ не позаботился одинъ родственникъ, Айскуфъ, духовный, жившій въ сосѣдствѣ. Онъ однажды засталъ Ньютона съ геометрическою книгою въ рукахъ и рѣшился воспитать его на свой счетъ.

Въ іюнѣ 1660 г., на 18 г., онъ поступилъ въ Кембриджскій университетъ, но почти безъ всѣхъ предварительныхъ познаній, которыя обыкновенно требуются отъ молодыхъ людей при поступленіи въ это заведеніе. Его дѣтство и первая юность прошли во мракѣ простой сельской жизни, и для него остались неизвѣстными всѣ средства для высшаго образованія. То, что мы до сихъ поръ сказали объ немъ, и составляетъ все, что можно сказать о его юношескихъ годахъ. Свѣтъ увидѣлъ его, говоритъ Фонтенель, только тогда, когда онъ сдѣлался великъ и силенъ, какъ знаетъ Нилъ только могучей рѣкою, не имѣя возможности достигнуть до его перваго незначительнаго истока.

Въ Кембриджѣ онъ прежде всего съ особенною любовью обратился къ математическимъ занятіямъ и притомъ съ цѣлью опровергнуть заблужденія астрологіи, которая въ то время имѣла еще сильныхъ приверженцевъ и многихъ друзей. Разсказываютъ, будтобы онъ показалъ ничтожность этой такъ-называемой науки своей собственной, весьма сложной геометрической фигурой, которую онъ построилъ съ помощью двухъ теоремъ Эвклида. Какъ бы то ни было, только онъ познакомился съ Эвклидомъ и польза, которую онъ извлекъ изъ этой книги, была велика. Но онъ не долго занимался этой книгой, потому

что она казалась ему слишкомъ легкой и такъ какъ истины, заключавшіяся въ ней, были очевидны сами собой, какъ онъ выражался. Поэтому безъ дальнѣйшихъ приготовленій, онъ тотчасъ же обратился къ болѣе трудной Геометріи Декарта, къ Ариѳметикѣ Безконечнаго Валлиса и къ сочиненіямъ Кеплера, которыя онъ изучалъ весьма усердно.

Очень жаль, что намъ такъ мало извѣстно о первыхъ работахъ Ньютона въ Кембриджѣ. Въ 1666 г. вслѣдствіе эпидемической болѣзни, возникшей въ этомъ городѣ, онъ отправился въ деревню и здѣсь въ саду паденіе яблока съ яблони навело его будто бы на мысль, что можетъ быть та же самая сила земли, которая притягиваетъ всѣ тѣла къ ея поверхности, или заставляетъ падать ихъ къ ея центру, движетъ также и луну въ ея пути вокругъ земли. Тотчасъ же онъ принялся ближе изслѣдовать это посредствомъ вычисленій. Для этого ему нужно было знать величину земнаго поперечника, выраженную въ какой-нибудь извѣстной мѣрѣ. По принятому географами и мореплавателями того времени вычисленію, онъ предположилъ градусъ меридіана земли равнымъ 16 англійскимъ или 12 нѣмецкимъ милямъ, тогда какъ на дѣлѣ онъ составляетъ около 15 нѣмецкихъ миль. Посредствомъ этого ошибочнаго предположенія, онъ согласно съ своей гипотезой, изъ паденія луны къ землѣ въ каждую секунду времени, вывелъ паденіе тѣлъ на поверхности земли въ ту же единицу времени, и у него вышло, что паденіе на землѣ равно 12 футамъ, тогда какъ на дѣлѣ оно равнялось почти 15 футамъ, — что уже прежде и весьма точно опредѣлилъ Галилей. Этой разницы въ три фута или въ пятую часть всей величины было достаточно, чтобы заставить его отказаться отъ его догадки о тожествѣ этихъ обѣихъ силъ, какъ отъ неосновательной спекуляціи, и скрыть ее, какъ онъ самъ впослѣдствіи разсказывалъ, даже отъ своихъ друзей, чтобы не подвергаться ихъ насмѣшкамъ. Конечно онъ не бросилъ совершенно этой идеи, но она вслѣдствіе его неудачнаго опыта повела его на ложный путь и онъ

считалъ вѣроятнымъ, что кромѣ силы земли есть еще многія другія силы, дѣйствующія на луну, и что изъ нихъ нѣкоторыя даже можетъ быть весьма сродны съ вихрями Декарта, бывшими тогда въ такой модѣ. Но такъ как силы этого рода неподдавались вычисленіямъ, то онъ отложилъ этотъ предметъ въ сторону и не занялся дальнѣйшимъ изслѣдованіемъ его.

Разсказываютъ, что снова навелъ его на мысль объ этомъ предметѣ счастливый случай. Пикаръ во Франціи, въ 1670 г., произвелъ измѣреніе меридіана болѣе точное, чѣмъ прежде бывшія измѣренія. Говорятъ, будто бы извѣстіе объ этомъ измѣреніи было сообщено въ письмѣ въ Королевское Общество, и это письмо было прочитано въ присутствіи Ньютона. Ньютонъ замѣтилъ существенные результаты, сообщавшіеся въ письмѣ, и по возвращеніи домой тотчасъ же принялся за свои прежнія вычисленія, на основаніи этого новаго опредѣленія земнаго діаметра Можно себѣ вообразить живое безпокойство, съ которымъ онъ принялся за эту работу. «Онъ поспѣшилъ домой,— разсказываетъ Робизонъ,—вынулъ всѣ свои старыя бумаги, повторилъ свои вычисленія 1666 г. и, когда онъ очень уже близко подошелъ къ новому результату, съ нимъ случилось такое сильное нервное волненіе, что онъ не могъ работать и просилъ пришедшаго друга докончить его вычисленія». Робизонъ не говоритъ, откуда онъ заимствовалъ этотъ разсказъ, и передавалъ его вѣроятно по слухамъ. (Этотъ разсказъ не достовѣренъ и онъ опровергнутъ выше въ текстѣ).

Ньютонъ съ 1669 г. занималъ мѣсто профессора математики въ Кембриджѣ, которое его предшественникъ Барро уступилъ ему добровольно; онъ былъ на этомъ мѣстѣ до 1695 г., такимъ образомъ цѣлыя 26 лѣтъ, и однако не получилъ никакой прибавки къ первоначальному жалованью. Вслѣдствіе этого онъ часто жаловался своимъ друзьямъ на тѣ ограниченія, которымъ онъ долженъ былъ подвергать себя, чтобы имѣть возможность удовлетворить своимъ другимъ научнымъ потребностямъ, — покупать

книги, инструменты и т. п. Онъ видѣлъ, что многіе изъ его прежнихъ товарищей получили доходныя должности или почетныя мѣста; между тѣмъ какъ самъ онъ не двигался съ мѣста и не имѣлъ на это надежды въ будущемъ. Хвалили его и его великія открытія, и однако предоставляли его своей собственной судьбѣ. Его друзья дѣлали множество попытокъ помочь его положенію—наградою его заслугъ отъ правительства, но попытки были напрасны. Это возбуждало въ немъ тихую печаль, которую онъ, особенно въ позднѣйшіе годы, не всегда могъ сдерживать Изъ писемъ его друзей видно, что улучшеніе его домашняго положенія часто было предметомъ его разговоровъ съ ними. По его просьбѣ, поданной начальству, онъ освобожденъ былъ, во вниманіе къ его бѣдности, отъ обыкновенной личной подати, въ одинъ шиллингъ въ недѣлю. Кажется онъ ожидалъ помощи отъ лорда Монтегю, своего бывшаго ученика, сдѣлавшагося однимъ изъ первыхъ государственныхъ людей страны. Но когда эта надежда не сбылась, онъ писалъ отъ 26 января 1692 г. своему другу, знаменитому философу Локку, слѣдующее: «Лордъ, кажется, и до сихъ поръ сердитъ на меня за дѣло, которое я уже давно забылъ. Но я оставляю его въ покоѣ, буду сидѣть смирно и ждать, и не думаю утруждать своими просьбами ни его и ни кого другаго. Я вижу, что мое дѣло сидѣть смирно». Эти жалобы относятся къ прибавкѣ жалованья, о которой онъ напрасно старался въ теченіе многихъ лѣтъ. Вся Европа была полна похвалами ему, и его соотечественники превозносили его, какъ гордость Англіи, и даже, какъ говорила впослѣдствіи его эпитафія, какъ украшеніе человѣческаго рода. Но этотъ такъ высоко прославленный человѣкъ оставался вмѣстѣ съ тѣмъ бѣднымъ человѣкомъ. Такое непризнаніе этого необыкновеннаго ума, говоритъ Брьюстеръ, возможно было только въ Англіи, гдѣ всѣ правительства, распоряжавшіяся судьбами страны, не были способны ни понять, ни признать истинное благородство генія. (И внѣ Англіи въ этомъ отношеніи не лучше, а въ нѣкоторыхъ мѣ-

стахъ положительно хуже: такіе геніи и благодѣтели человѣчества подвергаются формальнымъ гоненіямъ и преслѣдованіямъ).

Когда лордъ Монтегю, впослѣдствіи графъ Галифакскій, сдѣлался въ 1664 г. канцлеромъ казначейства, онъ вызвалъ Ньютона въ Лондонъ для устройства монетнаго дѣла. Ньютонъ отправился въ Лондонъ въ сопровожденіи своей племянницы, миссъ Катерины Бартонъ, которая была молода, прекрасна и вѣчно весела и которая, хотя и не могла избѣжать строгаго суда своихъ строгихъ современниковъ, однако уважалась всѣми, знавшими ее близко, какъ женщина безукоризненной честности. Къ счастію по прибытіи Ньютона въ столицу очистилось мѣсто монетнаго надзирателя. и лордъ просилъ поэтому короля дать это мѣсто съ 6,000 фунт. стерл. ежегоднаго содержанія своему другу Ньютону. Черезъ три года онъ получилъ мѣсто главнаго начальника надъ монетнымъ вѣдомствомъ, съ 15,000 фунт. стерл. содержанія, и занималъ эту должность до самой смерти. Вскорѣ затѣмъ лордъ лишился своей жены и съ тѣхъ поръ обратилъ всю свою любовь на миссъ Бартонъ. Какъ много имѣла вліянія эта связь на судьбу Ньютона, трудно теперь сказать. Лордъ Монтегю умеръ въ 1715 г., оставивъ большую часть своего значительнаго состоянія миссъ Бартонъ. Преслѣдуемая въ Англіи наука, замѣчаетъ Брьюстеръ, постоянно будетъ оплакивать то, что онъ былъ первый и послѣдній англійскій министръ, который почтилъ генія своей дружбой и помогалъ ему своимъ покровительствомъ.

Предъ отъѣздомъ изъ Кембриджа, зимой 1693 г., однажды утромъ Ньютонъ вышелъ изъ своего кабинета въ сосѣднюю домовую капеллу. Въ его отсутствіе его маленькая собачка Діамантъ уронила горѣвшую свѣчу, которую Ньютонъ оставилъ на столѣ; вслѣдствіе этого загорѣлись всѣ бумаги, лежавшія на столѣ, и Ньютонъ возвратился въ свою комнату уже тогда, когда большая часть ихъ была истреблена пламенемъ. Его сожалѣніе объ этой потерѣ было до такой степени болѣзненно, что вслѣдствіе ея у

него надолго ослабѣли умственныя способности. Біо, первый печатно заявившій объ этой болѣзни, видитъ въ ней причину, почему Ньютонъ послѣ этого времени не издалъ уже ни одного великаго ученаго произведенія. Лапласъ даже того мнѣнія, что послѣ этого несчастнаго случая Ньютонъ навсегда остался съ ослабѣвшими умственными силами, и въ доказательство указываетъ на его богословскія изслѣдованія объ Апокалипсисѣ и прочемъ, которыми великій человѣкъ занимался въ концѣ своей жизни. Брьюстеру хотѣлось бы считать всю исторію объ этой болѣзни выдумкой, или крайнимъ преувеличеніемъ, и онъ никакъ не можетъ примириться съ мыслью, чтобы такой великій человѣкъ могъ быть боленъ такого рода болѣзнью. Онъ даже беретъ подъ свою защиту и эти богословскія занятія своего идола. Извѣстно, что эти богословскія сочиненія Ньютона были изданы послѣ его смерти его друзьями, и всѣми признано теперь, что было бы гораздо лучше, еслибы они навсегда остались неизданными.

Съ 1707 г. и до смерти въ 1727 г. его домашними дѣлами занималась миссъ Бартонъ, которая, по смерти лорда Монтегю, вышла замужъ за Кондюита и вмѣстѣ съ своимъ мужемъ жила въ домѣ Ньютона.

Въ 1722 г. на 80 г. жизни Ньютона въ первый разъ стала мучить каменная болѣзнь. Правильнымъ образомъ жизни онъ долгое время ослаблялъ болѣзнь. Пища его главнымъ образомъ состояла изъ растительныхъ веществъ, молока, плодовъ и хлѣба. Послѣ нѣсколькихъ повторившихся припадковъ каменной болѣзни, онъ въ 1725 г. заболѣлъ сильнымъ кашлемъ и воспаленіемъ легкихъ. По выздоровленіи онъ уѣхалъ на дачу вблизи Лондона, гдѣ его здоровье замѣтно поправилось, особенно послѣ того, когда стала правильно показываться подагра. Съ большимъ трудомъ могли удерживать его отъ посѣщенія Лондона, такъ какъ онъ пользовался всякимъ предлогомъ, чтобы посѣщать академію наукъ, президентомъ которой онъ былъ, и своихъ ученыхъ друзей въ столицѣ. 25 февраля 1727 г. онъ предсѣдательствовалъ въ собраніи академіи, сдѣлалъ и

принялъ много визитовъ и вслѣдствіе этого утомился до такой степени, что съ нимъ случился сильнѣйшій припадокъ его болѣзни. Успокоившись, онъ возвратился на дачу, гдѣ сильно стала мучить его каменная болѣзнь. 15 марта его положеніе повидимому улучшилось, его тѣлесныя и моральныя силы какъ бы проснулись и обнаружились въ веселомъ и весьма живомъ разговорѣ съ его врачами Мидомъ и Чесельденомъ и съ окружавшими его друзьями. Но въ тотъ же день около 7 часовъ вечера онъ потерялъ сознаніе и оставался въ безсознательномъ состояніи до смерти, которая послѣдовала 20 марта 1727 г. на 85 году его жизни.

Его тѣло было перевезено въ Лондонъ и торжественно выставлено въ Іерусалимской капеллѣ и потомъ перенесено въ Вестминстерское аббатство, гдѣ и было погребено недалеко отъ входа къ лѣвой сторонѣ. Въ день погребенія его погребальное покрывало несли лордъ канцлеръ, герцоги роксбарскій и монтрозскій, графы Пемброкъ, Суссексъ и Маклесфильдъ, которые всѣ были членами королевской академіи. Погребальное шествіе сопровождалъ епископъ рочестерскій со всѣмъ подчиненнымъ ему духовенствомъ. Послѣ него осталось состояніе въ 32,000 фунт. стерл., которые были раздѣлены между тремя его сестрами отъ втораго брака его матери.

Въ его родномъ домикѣ въ Вульсторпѣ живетъ теперь нѣкто Вобертонъ. На стѣнѣ комнаты, въ которой родился Ньютонъ, укрѣплена мраморная доска съ надгробною надписью Ньютону, сочиненною Попе:

Природа и ея законы были покрыты мракомъ;
И сказалъ Богъ: «да будетъ Ньютонъ», и все стало свѣтло.

Въ Кембриджѣ по преданію извѣстна комната, въ которой жилъ Ньютонъ. Въ этомъ же городѣ въ Trinity-College показываютъ глобусъ Ньютона, сдѣланные имъ солнечные часы, компасъ и локонъ его серебристыхъ волосъ, кото-



рые подобно святынѣ сохраняются подъ стеклянными колпакомъ.

Локкъ, Джонъ (стр. 246), род. 1632, ум. 28 октября 1704 г., былъ однимъ изъ замѣчательнѣйшихъ философовъ Англіи. Главное его сочиненіе: «Essay on human unterstanding», Лондонъ 1690, переведенное на нѣмецкій языкъ Тенеманномъ, Лейпцигъ 1695, свидѣтельствуетъ о глубокомъ изученіи психической природы человѣка. Онъ отвергалъ врожденныя идеи и основывалъ всѣ наши познанія на впечатлѣніяхъ внѣшнихъ чувствъ и внутренняго чувства, или на внѣшнемъ и внутреннемъ воспріятіи, посредствомъ котораго мы получаемъ матерію или содержаніе нашего познанія; это содержаніе переработывается потомъ разсудкомъ и посредствомъ индукцій возводится къ общимъ понятіямъ. Онъ прожилъ много лѣтъ во Франціи и Голландіи, такъ какъ онъ почти противъ своей воли запутанъ былъ въ интриги, потрясавшія его отечество при Кромвелѣ и Карлѣ. Полное собраніе его сочиненій явилось въ Лондонѣ 1801—1812, въ десяти томахъ.

Эйлеръ, Леонардъ (стр. 276), одинъ изъ величайшихъ математиковъ, родился въ Базелѣ 15 апрѣля 1707. Отецъ его Павелъ, реформатскій проповѣдникъ сосѣдней деревни Рихена, самъ училъ своего сына, предназначавшагося впрочемъ для духовнаго званія, первымъ началамъ математики. Затѣмъ онъ поступилъ въ университетъ въ Базелѣ, гдѣ профессоромъ его былъ Иванъ Бернулли На 19 г. онъ написалъ на премію парижской академіи сочиненіе о веденіи кораблей. Его сочиненіе принято было съ одобреніемъ; но премію получилъ Буге. Когда вскорѣ послѣ этого Даніилъ Бернулли оставилъ Петербургъ, Екатерина I въ 1727 г. пригласила его въ петербургскую академію, въ мемуарахъ которой отъ 1729 до 1732 гг. помѣщены были его очень важныя статьи. Три года спустя явилась его механика, Петербургъ, 1736, два тома въ 4°, вмѣстѣ съ его теоріей музыки, его ариѳметикой и многими другими

разсужденіями въ мемуарахъ этой академіи. По паденіи Бирона, онъ, недовольный происходившими до тѣхъ поръ политическими интригами и переворотами, отправился, по приглашенію Фридрихе II, въ Пруссію, гдѣ въ 1741 г. сдѣланъ былъ президентомъ берлинской академіи. Сюда онъ привезъ съ собой въ 1750 г. свою овдовѣвшую мать, которая жила при немъ до самой своей смерти въ 1761 г. Вслѣдствіе его усиленныхъ напряженныхъ ночныхъ занятій, у него въ 1735 г. ослѣпъ одинъ глазъ, а въ 1766 г. и другой. Но вслѣдствіе этого не прекратилась его ученая дѣятельность, такъ какъ онъ свои дальнѣйшія и весьма многочисленныя работы диктовалъ своему служителю, нѣсколько понимавшему математику. Въ томъ же 1766 г., по приглашенію Екатерины II, онъ снова отправился въ Петербургъ, гдѣ въ 1771 г. сгорѣла его квартира, въ которой и онъ сгорѣлъ бы, еслибы слѣпаго старика не спасъ какой-то незнакомецъ. 7 сентября 1783 г. онъ до обѣда вычислялъ движеніе воздушнаго шара и въ полдень горячо разсуждалъ съ Лекселемъ о новооткрытой планетѣ Венерѣ. Послѣ обѣда онъ закурилъ трубку и весело игралъ съ своими внуками; но вдругъ упалъ со стула и тотчасъ же скончался.

Онъ былъ женатъ два раза и оставилъ послѣ себя много дѣтей и еще больше внуковъ. Списокъ всѣхъ его сочиненій находится въ біографіи его, написанной Фуссомъ. Кондорсе написалъ похвальное слово ему, помѣщенное въ мемуарахъ парижской академіи. Его заслуги по всѣмъ отдѣламъ математики дѣйствительно неисчислимы. Главнѣйшимъ же его дѣломъ и такъ сказать цѣлью всей его жизни было усовершенствованіе математическаго анализа, этого важнѣйшаго инструмента при всѣхъ нашихъ ученыхъ изслѣдованіяхъ. Сюда относится особенно введеніе имъ въ употребленіе тригонометрическихъ функцій и безконечныхъ рядовъ. Онъ болѣе чѣмъ кто-либо другой расширилъ область математики и далъ ей новый видъ, переведшій геометрію на анализъ. Онъ отличался необыкновенною ясностью изложенія; такъ что его самыя трудныя

изслѣдованія въ его устномъ изложеніи могли быть доступны пониманію даже дѣтей. Плодовитость его ума была чрезвычайна и удивительна, такъ что онъ, въ продолженіе своей долгой жизни съ 20 до 76 лѣтъ, наполнялъ своею работою всѣ мемуары и ученые журналы своего времени, и даже послѣ своей смерти онъ оставилъ Петербургской академіи цѣлую кипу прекрасныхъ математическихъ статей, которыя до самаго 1830 г. украшали каждый томъ ея изданій. Главнѣйшія изъ его большихъ сочиненій суть слѣдующія:

Письма къ нѣмецкой принцессѣ (ангальтъ-дессауской) 1768, три тома, по-французски переведены Лабееъ, Парижъ, 1812, а по-нѣмецки Крисомъ, Лейпцигъ, 1792.—«Teoria motuum planetarum et cometarum», Берлинъ 1744, нѣмецкій переводъ Пакасси, Вѣна 1781.—«Introductio in analysin infinitorum», два тома, Лозанна 1748, нѣмецкій переводъ Михельсена, въ трехъ томахъ, Берлинъ 1785.—«Institutiones calculi differentialis», два тома, Берлинъ 1755; нѣмецкій переводъ Михельсена, Берлинъ 1790. —«Institutiones calculi integralis», четыре тома, 1792. —«Введеніе въ Алгебру», два тома, Петербургъ 1770; нѣмецкій переводъ Эберта, Берлинъ 1801.—«Dioptrica», три тома, Петербургъ 1769.—«Mechanica, seu motus scientia», два тома, 1736. — «Theoria motus corporum solidorum», 1765.—«Scientia navalis», 1749.—«Theoria motus lunae», 1753.—«Theoria motuum lunae», 1772.

Лагранжъ, Жозефъ Луи (стр. 296), одинъ изъ величайшихъ математиковъ, родился 25 января 1736 г. въ Туринѣ, былъ сенаторомъ, графомъ имперіи, кавалеромъ почетнаго легіона большаго креста и пр. Его отецъ былъ военнымъ казначеемъ, а мать Марія Гро — единственная дочь богатаго врача. Онъ былъ послѣднимъ изъ ихъ 11 дѣтей. Отважныя предпріятія разорили состояніе его отца и заставили сына трудиться и самому себѣ обезпечивать самостоятельное существованіе. Онъ считалъ это впослѣдствіи причиной своего счастія. «Еслибы я имѣлъ

состояніе, говорилъ онъ, я бы не любилъ математики, можетъ быть даже и не научился бы ей». Въ Туринскомъ университетѣ онъ занимался сначала только римскими классиками, и только впослѣдствіи занялся греческими геометрами. Трактатъ Галлея («Philos. Transact.» за 1693, т. XVII, стр. 960), въ которомъ главнымъ образомъ восхвалялся аналитическій методъ математики, открылъ ему, 17-лѣтнему юношѣ, умственные глаза и указалъ ему его истинное призваніе. Въ этомъ же 1753 г. онъ сдѣланъ былъ профессоромъ математики въ артиллерійской школѣ въ Туринѣ. Всѣ его ученики были старше его годами. Изъ числа ихъ онъ выбралъ себѣ друзей и изъ нихъ составилъ частное ученое общество, изъ котораго впослѣдствіи возникла Туринская академія наукъ. Это общество издало въ 1759 г. первый томъ своихъ мемуаровъ, подъ заглавіемъ: «Actes de la société privée de Turin». Въ этомъ томѣ онъ сообщилъ методъ de maximis et minimis, о которомъ онъ говоритъ, что онъ намѣренъ обработать его въ особомъ сочиненіи, которое будетъ заключать въ себѣ всю механику твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Въ первыхъ томахъ этого изданія находятся его разсужденія о возвращающихся рядахъ, объ азартныхъ играхъ, о движеніи жидкостей, о распространеніи звука и сотрясеніяхъ струнъ. Эйлеръ тотчасъ же далъ свое полное одобреніе этимъ превосходнымъ работамъ; но д'Аламберъ думалъ не такъ: онъ съ своей точки зрѣнія со многимъ не соглашался въ этихъ работахъ, хотя высоко уважалъ самого Лагранжа и его талантъ. Эйлеръ публично объявилъ, что рѣшеніе проблемы изопериметрической кривой, котораго онъ самъ такъ долго искалъ и которое нашелъ Лагранжъ, привело его въ восторгъ, и по его представленію Лагранжъ въ 1759 г. сдѣланъ былъ членомъ Берлинской академіи. Вскорѣ затѣмъ Лагранжъ получилъ премію отъ Парижской академіи за сочиненіе о либраціи луны, а въ слѣдующемъ году за теорію Юпитеровыхъ спутниковъ. По краткости времени онъ не могъ произвести всѣхъ вычисленій объ этомъ послѣднемъ предметѣ и обѣщалъ предста-

вить ихъ впослѣдствіи. Но это дополненіе гораздо позже сдѣлано было Лапласомъ.

Знаменитая теорема Ферната о природѣ чиселъ, высказанная имъ безъ всякихъ доказательствъ, которыхъ напрасно искали его послѣдователи, дала ему случай сообщить свои свѣдѣнія объ этомъ предметѣ въ мемуарахъ Туринской академіи за 1768 г. Такъ какъ ему не нравилось жить въ Туринѣ, гдѣ не было ни одного математика, то онъ отправился въ Парижъ, гдѣ былъ очень хорошо принятъ д'Аламберомъ, Клеро, Кондорсе, Фонтеномъ, Нолле и другими. Въ 1766 г. Эйлеръ хотѣлъ оставить Берлинъ, гдѣ онъ былъ президентомъ академіи и снова возвратиться въ Петербургъ. Д'Аламберъ, который боялся принимать предложеніе прусскаго короля и не хотѣлъ отвѣчать на него отказомъ, предложилъ въ президенты Берлинской академіи Лагранжа, который дѣйствительно и получилъ это мѣсто съ 1,500 тал. ежегоднаго содержанія. Эйлеръ получалъ то же содержаніе, но Мопертюи, его предшественникъ, получалъ 3,000 тал., потому что онъ былъ любимцемъ короля. Въ письмѣ къ Вольтеру Фридрихъ называлъ Эйлера своимъ одноглазымъ геометромъ, уши котораго не созданы для того, чтобы чувствовать прелести поэзіи, на что Вольтеръ отвѣчалъ: «мы составляемъ небольшое число адептовъ, которые понимаемъ это дѣло, а всѣ остальные въ немъ профаны». 6 ноября 1766 г. Лагранжъ прибылъ въ Берлинъ, гдѣ и оставался до 1786 г. Здѣсь онъ напрасно старался выучиться по-нѣмецки; однако Фридрихъ предпочиталъ его Эйлеру, который казался ему слишкомъ набожнымъ. Мемуары Берлинской академіи за это время свидѣтельствуютъ о его остроуміи и неутомимой дѣятельности. Къ этому же періоду относится первое изданіе его «Mécanique analytique». Онъ хотѣлъ печатать его въ Парижѣ, но не находилъ издателя. Наконецъ книгопродавецъ Десенъ рѣшился издать это сочиненіе, но съ условіемъ, что за экземпляры, которые останутся непроданными по истеченіи извѣстнаго времени, долженъ будетъ заплатить самъ Лагранжъ. Подобную же судьбу

испытала и «Mechanica corporum rigidorum» Эйлера, для которой тоже не находилось издателя нѣсколько лѣтъ, и она наконецъ была напечатана въ Грейфсвальдѣ почти на оберточной бумагѣ.

Со смертію Фридриха Великаго въ Пруссіи измѣнилось весьма многое, особенно для иностранныхъ ученыхъ. Лагранжу казалось, что въ Берлинѣ поступаютъ съ нимъ не такъ, какъ онъ заслуживаетъ, хотя онъ никому этого не говорилъ. Несомнѣнно, что въ послѣдніе годы своей жизни онъ сильно желалъ возвратиться въ Парижъ. Въ 1787 г. онъ наконецъ и отправился въ Парижъ, гдѣ былъ очень благосклонно принятъ королевой Антуанеттой, которая даже дала ему квартиру въ Луврѣ. Здѣсь онъ жилъ въ уединеніи, предаваясь своимъ тихимъ занятіямъ и ни къ кому почти не ходилъ, исключая Лавуазье, у котораго ежедневно бывали собранія. Но и здѣсь онъ часто по цѣлымъ часамъ стоялъ молча у окна, такъ что незнакомые считали его чудакомъ или мечтателемъ. Въ это же время онъ совершенно потерялъ любовь къ математикѣ; такъ что въ теченіе двухъ лѣтъ онъ почти не раскрывалъ ни одной математической книги. Но зато усердно занимался метафизикой, исторіей, медициной, ботаникой и химіей, особенно послѣдней, о которой онъ сказалъ однажды Лавуазье, что онъ не можетъ достаточно надивиться тому, что находитъ химію почти такою же легкою, какъ алгебра.

При началѣ революціи въ 1789 г. онъ былъ назначенъ въ большую комиссію, которая должна была заняться введеніемъ новой системы метрическихъ мѣръ. Это обстоятельство снова пробудило въ немъ прежнюю любовь къ математикѣ. Онъ хотѣлъ провести во всей чистотѣ эту (десятичную) систему и не могъ простить Борде того, что тотъ пытался ввести еще четверти метра. Когда вмѣсто числа 10 предлагали 12, потому что оно допускаетъ большее число дѣлителей, онъ возсталъ противъ этого съ большимъ жаромъ, чего съ нимъ почти никогда не случалось, и съ своей стороны предлагалъ число 11, конечно на

томъ основаніи, что тогда всѣ дроби будутъ десятичными дробями.

Время террора прошло для него спокойно, такъ какъ онъ много предавался ученымъ занятіямъ и даже въ обществѣ говорилъ обыкновенно весьма мало. Республиканцы сдѣлали его профессоромъ въ École Normale, которая существовала не долго, а потомъ въ École Polytechnique, которая имѣла лучшую участь. Здѣсь онъ преподавалъ свою теорію функцій и свое рѣшеніе численныхъ уравненій. Вскорѣ затѣмъ онъ предпринялъ новое изданіе «Mécanique analytique», надъ которымъ онъ работалъ такъ усидчиво, что разстроилъ свое здоровье. Однажды во время этой работы онъ упалъ со стула, ударился головой о полъ и долго лежалъ въ изнеможеніи. Послѣ этого случая онъ сдѣлался болѣзненнымъ. Къ концу марта 1813 г. у него показались ежедневная лихорадка, недостатокъ аппетита съ повторявшимся изнеможеніемъ. Его умъ въ теченіе послѣдней недѣли его жизни былъ ясенъ и свѣтелъ. 8 апрѣля онъ разсказывалъ Ласепеду, Монжу и Шапталю, пришедшимъ посѣтить его, что онъ вчера почти уже умиралъ. «Я чувствовалъ», говорилъ онъ, «очень ясно, какъ жизнь, разлитая по всему тѣлу, мало по малу оставляла отдѣльныя части его». Онъ говорилъ далѣе, что считаетъ смерть пріятною, если только она безболѣзненна; впрочемъ выражалъ надежду на выздоровленіе, обѣщалъ сообщить матеріалы для своей біографіи, думалъ отправиться лечиться на воды и проч. 10 апрѣля 1813 г. онъ умеръ послѣ 10-дневной болѣзни. Смерть его повидимому была безболѣзненна, хотя онъ въ послѣдніе часы потерялъ сознаніе. — Онъ былъ нѣжнаго сложенія, но силенъ, имѣлъ характеръ тихій и ровный, и никто почти не видалъ его въ страстной горячности. Въ обществѣ онъ бывалъ весьма спокоенъ и молчаливъ, а незнакомымъ долженъ былъ казаться даже боязливымъ. Онъ держался твердо однажды принятыхъ воззрѣній и обвинялъ другихъ, если они, какъ напр. Борде, хотѣли разубѣдить его въ самолюбивомъ упрямствѣ. Все его существо было проникнуто

тихой ироніей. Онъ не былъ любителемъ музыки, и когда кто-нибудь спрашивалъ, любитъ ли онъ ее, онъ отвѣчалъ: «да, потому что она изолируетъ меня въ обществѣ; я слышу обыкновенно только первые такты и затѣмъ предаюсь моимъ мечтамъ, среди которыхъ меня меньше всего безпокоятъ въ музыкальныхъ обществахъ».—Когда ему однажды представили молодаго человѣка, который хочетъ посвятить себя математикѣ, онъ спросилъ, имѣетъ ли онъ состояніе, и когда ему отвѣчали, что имѣетъ, онъ замѣтилъ: «это дурно, молодой человѣкъ. Бѣдность есть такое возбужденіе къ дѣятельности, какого ничто не можетъ замѣнить и безъ котораго трудныя работы и занятія никогда не будутъ имѣть надлежащаго постоянства». Часто онъ выражалъ свое сожалѣніе о тѣхъ, которые должны посвящать себя математикѣ, которая приняла теперь такіе обширные размѣры. «Мнѣ жалко молодыхъ геометровъ», говорилъ онъ, «которые должны пройти такой тернистый путь. Еслибы мнѣ приходилось теперь начинать, то я не сталъ бы учиться математикѣ, потому что, — при этомъ онъ указывалъ на кипу новыхъ математическихъ книгъ на его столѣ, — эти толстые томы просто испугали бы меня».—Между всѣми математиками онъ особенно высоко цѣнилъ Эйлера. «Истинные любители математики», говорилъ онъ, «должны всегда читать Эйлера, потому что въ его сочиненіяхъ все ясно, отлично сказано и отлично вычислено и потому что въ нихъ бездна отличныхъ примѣровъ».—Однажды онъ разсуждалъ о счастіи, которое выпало на долю Ньютона, объяснить міровую систему, и которое, прибавилъ онъ съ серьезнымъ и почти печальнымъ видомъ, достается людямъ не часто; и это навело его на мысль о счастіи одного изъ его товарищей (Монжа), котораго оригинальная изобрѣтательность часто бѣсила его. «Вотъ посмотрите»: сказалъ онъ, «этотъ дьяволъ за свое приложеніе анализа къ поверхностямъ сдѣлается безсмертнымъ, да, сдѣлается безсмертнымъ».—Такъ какъ онъ свои всегда ясныя идеи хотѣлъ облекать непремѣнно въ ясныя слова, то часто случалось, что онъ на лекціяхъ останав-

ливался на половинѣ фразы и придумывая другую половину повторилъ свою любимую поговорку: «я не знаю, я не знаю» и наконецъ совершенно бросалъ фразу, чтобы начать другую новую. Эти перерывы часто происходили также и оттого, что ему внезапно приходили въ голову новыя идеи и казалось на мгновеніе приковывали къ себѣ его умъ.—Дальнѣйшія свѣдѣнія о Лагранжѣ можно найти въ похвальномъ словѣ Деламбра («Mem. de l'Instit.» за 1813); въ «Journal de l'Empire» 28 апр. 1813; въ «Précis historique sur la Grange» Вирея и Потеля, и въ похвальномъ словѣ Лагранжу Коссали, Падуя 1813.

Главнѣйшія сочиненія его слѣдующія: «Mécanique analytique», первое изд. 1788, второе изд. I т. 1811 и II т. 1815 — «Théorie des fonctions analytiques», первое изд. 1797 и второе 1813.—«Leçons sur le Calcul des fonctions», послѣднее изд. 1806.—«Resolutions des équations numériques» 1798, второе изд. 1808. — Три послѣднія сочиненія были переведены на нѣмецкій языкъ, съ примѣчаніями, Креллемъ. Его многочисленныя статьи разсѣяны въ мемуарахъ Туринской, Берлинской и Парижской академій и въ изданіяхъ Institut de France, École polytechnique и «Conn. des temps». Указаніе этихъ статей, помѣщенныхъ въ этихъ мемуарахъ, находится въ «Zeitschrift für Astronomie», Линденау, май и іюнь, 1816, стр. 484.

Лапласъ, Пьеръ Симонъ (стр. 328), одинъ изъ первыхъ математиковъ, родился 24 марта 1749 г. въ Бомонѣ на Ожѣ, мѣстечкѣ въ департаментѣ Кальвадосъ. Уже въ ранней юности онъ отличался твердою памятью и большой способностью пониманія. Весьма рано онъ изучилъ въ совершенствѣ древніе языки и съ успѣхомъ занимался многими отраслями литературы. Первые лавры онъ пожалъ въ богословіи, гдѣ онъ умѣлъ очень остроумно представить самые спорные пункты догматовъ. По прибытіи въ Парижъ, онъ скоро сдѣлался извѣстенъ своими математическими познаніями, сдѣланъ былъ экзаменаторомъ въ артиллерійскомъ корпусѣ и вскорѣ потомъ членомъ академіи.

Послѣ Эйлера Лапласъ сдѣлалъ больше всѣхъ для утвержденія и развитія математическаго анализа. Онъ казалось былъ рожденъ для этого дѣла; и всѣ его математическія работы имѣли особенную прелесть и особенную симметрію въ формѣ и отличались столько же всеобщностью метода и богатствомъ содержанія, сколько совершенствомъ внѣшняго стиля. Въ своемъ главномъ сочиненіи «Mécanique Céleste» (5 томовъ, Парижъ 1799 — 1825), онъ собралъ всѣ великія сдѣланныя до него открытія въ математикѣ и соединилъ ихъ съ своими собственными открытіями. Для болѣе обширнаго круга читателей онъ предназначилъ свое «Exposition du système du Monde» (7 изданій). Его «Théorie analytique des probabilités» (3 изд. Парижъ, 1820) и его «Essai philosophique sur les probabilités» (Парижъ, 1814) представляютъ собою самыя лучшія сочиненія, какія мы имѣемъ объ этомъ предметѣ. Его другія весьма многочисленныя статьи находятся большею частію въ «Mem. de l'Acad. de Paris» отъ 1772 до 1823 г. Въ позднѣйшіе годы онъ много занимался физическими изслѣдованіями о теплотѣ, о капиллярныхъ явленіяхъ, о скорости звука и т. п. Наполеонъ во время своего консульства назначилъ его министромъ внутреннихъ дѣлъ, потомъ канцлеромъ охранительнаго сената и наконецъ графомъ имперіи. Въ 1814 г. онъ подалъ голосъ за учрежденіе временнаго правительства и за низложеніе Наполеона; во время 100 дней онъ не принималъ на себя никакихъ должностей. Хотя онъ послѣ того еще и сохранялъ славу какъ ученый, однако какъ членъ палаты перовъ онъ былъ не дѣятеленъ и ничтоженъ, и отказался занимать президентское мѣсто на собраніи членовъ Института, обсуждавшихъ въ 1825 г. просьбу къ Карлу X объ уничтоженіи цензуры.

Онъ до самой старости сохранилъ отличную память; и въ послѣдніе годы своей жизни могъ говорить наизустъ цѣлыя тирады изъ Расина и др. писателей. Онъ былъ чрезвычайно воздерженъ въ пищѣ и уже въ преклонныхъ лѣтахъ ѣлъ чрезвычайно мало. Болѣзни мучили его толь-

ко въ продолженіе двухъ послѣднихъ лѣтъ его жизни; хотя глаза его были слабы, но онъ умѣренностью умѣлъ сохранить зрѣніе до самой смерти. Въ началѣ болѣзни, которая была причиной его смерти, часто замѣчали, что онъ бредитъ объ астрономическихъ предметахъ, какъ будто читаетъ рѣчь въ засѣданіяхъ академіи. Когда ему уже на смертномъ одрѣ окружавшіе его друзья напомнили о его открытіяхъ, онъ горько засмѣялся и сказалъ: «то, что̀ мы знаемъ, не велико, а то, чего мы не знаемъ, громадно». Черезъ нѣсколько часовъ послѣ этого онъ умеръ спокойно и безболѣзненно 5 мая 1827 г.

Брадлей, Джемсъ (стр. 339), родился 1692 г. въ Шербурнѣ въ Глостерширѣ. Его отецъ Вильямъ былъ женатъ на сестрѣ Джемса Поунда, объ астрономическихъ наблюденіяхъ котораго Ньютонъ часто упоминаетъ въ «Principia». Уже въ 1716 г. Брадлей занимался астрономіей; въ 1721 г. онъ былъ сдѣланъ савиліанскимъ профессоромъ въ Оксфордѣ и въ 1724 г. началъ свои важнѣйшія наблюденія, которыя привели его къ двумъ его блестящимъ открытіямъ, къ аберраціи и нутаціи. Первыя его наблюденія были сдѣланы въ домѣ Молинѣ въ Кью; въ 1727 г. онъ устроилъ для своихъ наблюденій зенитный секстонъ въ Ванстидѣ. Собственно открытіе аберраціи относится къ 1728 г. Когда слава его, какъ великаго наблюдателя, прочно установилась, тогда онъ въ 1742 г. сдѣланъ былъ королевскимъ астрономомъ въ Гринвичѣ и здѣсь началъ рядъ наблюденій, которыя привели его наконецъ въ 1747 г. къ открытію нутаціи (см. объ этомъ его статьи въ «Phil. Trans.» № 485, vol. 45; а объ аберраціи № 406, vol. 35). Третья великая заслуга его въ астрономіи есть опредѣленіе рефракціи. Въ 1751 г. онъ получилъ отъ правительства правильное ежегодное жалованье въ 250 фунт. стерл. 1 сентября 1761 г. на 69 году онъ отправился въ Чельфордъ пользоваться деревенскимъ воздухомъ, гдѣ и умеръ 13 іюля 1762 г. Собранныя имъ въ Гринвичѣ наблюденія въ XIII большихъ рукописныхъ

томахъ, были взяты его наслѣдниками какъ собственность; и только въ 1776 г. они достались Оксфордскому университету, который поручилъ профессору Горнеби напечатать ихъ. Они были изданы въ двухъ томахъ, Оксфордъ 1798 и 1805 гг., и заключали въ себѣ наблюденія отъ 1750 до 1762 г. Вся ихъ польза обнаружилась только тогда, когда Бессель въ Кенигсбергѣ поправилъ эти наблюденія по разнымъ таблицамъ и сдѣлалъ по нимъ вычисленія для своихъ цѣлей. (См. «Fundamenta astronomiae» Бесселя, Кенигсбергъ 1816). Брадлей считается однимъ изъ величайшихъ практическихъ астрономовъ. Въ Гринвичѣ преемственно занимали мѣсто королевскаго астронома слѣдующія лица: Флемстидъ, Галлей, Брадлей, Маскелинъ, Пондъ и Айри.

Ремеръ, Олавъ (стр. 339), родился 25 сентября 1644 г. въ Копенгагенѣ отъ недостаточныхъ родителей. Онъ учился математикѣ у Бартолина, употреблявшаго его также на просматриваніе рукописей Тихо Браге. Это привело его къ астрономіи. Онъ познакомился съ Пикаромъ, во время путешествія его въ Ураніенбургъ, и Пикаръ взялъ его съ собой во Францію въ 1672 г., гдѣ онъ сначала преподавалъ математику дофину. Вскорѣ онъ былъ принятъ членомъ въ Парижскую академію наукъ. Въ 1675 г. онъ сообщилъ академіи свое открытіе скорости свѣта, открытіе, такъ прекрасно послѣ доказанное посредствомъ найденной Брадлеемъ аберраціи. Онъ познакомилъ насъ съ эпициклоидическою формою зубчатыхъ машинныхъ колесъ и сдѣлалъ много искусственныхъ планетаріумовъ, также какъ и одинъ іовилабіумъ, съ помощью котораго можно было опредѣлять впередъ фазы и затмѣнія спутниковъ Юпитера. Въ 1681 г. король датскій отозвалъ его обратно въ отечество, гдѣ онъ уже въ 1676 г. былъ сдѣланъ профессоромъ математики въ Копенгагенѣ и гдѣ его назначили королевскимъ астрономомъ, директоромъ монетнаго двора и инспекторомъ всѣхъ датскихъ гаваней. Его отечество обязано ему хорошею системою мѣръ и

вѣсовъ, усовершенствованіемъ горнаго дѣла и многими значительными улучшеніями торговли, мореплаванія и артиллеріи. Въ 1707 г. онъ былъ сдѣланъ королевскимъ совѣтникомъ и бургомистромъ Копенгагена. Среди всѣхъ этихъ занятій онъ никогда не упускалъ изъ виду астрономіи. Его главное стремленіе было опредѣлить параллаксы неподвижныхъ звѣздъ, чтобы получить прямое доказательство для годоваго движенія земли. Съ этой цѣлью онъ въ продолженіе 18 лѣтъ собралъ многочисленныя наблюденія, которыя онъ приготовлялся уже издать, но умеръ 19 сентября 1710 г. отъ каменной болѣзни. Изъ его ученыхъ друзей ближе всѣхъ онъ былъ съ Лейбницемъ. Большая часть его рукописей была истреблена во время пожара Копенгагенской обсерваторіи, 20 октября 1728 г. Нѣкоторыя изъ его сочиненій заключаются въ «Mém. de l'Acad. de Paris» vol. VI и X. Его ученикъ и преемникъ Горребовъ сообщилъ исторію открытій Ремера и описаніе его инструментовъ, которыми онъ снабдилъ свою обсерваторію, въ своемъ «Basis astronomiae» 1735. Въ «Triduum Observatorionum Tusculanarum» заключаются и трехдневныя наблюденія Ремера, произведенныя на его частной обсерваторіи въ собственномъ имѣніи и отличающіяся точностью, необыкновенною для того времени. Онъ первый ввелъ въ употребленіе полуденную трубу или такъ называемый Instrument des passages, также какъ и полные круги, вмѣсто прежнихъ неудобныхъ квадрантовъ и тѣмъ далъ практической астрономіи новый видъ, достоинство котораго гораздо позднѣе было признано всѣми. О заслугахъ его писалъ Кондорсе въ «Mém. de l'Acad.»

Гершель, Вильямъ (стр. 348), былъ второй сынъ одного музыканта изъ Ганновера и родился 15 ноября 1738 г. Его отецъ предназначалъ и воспитывалъ его съ четырьмя другими сыновьями для своего искусства. На 14 году онъ поступилъ музыкантомъ въ ганноверскій гвардейскій полкъ, съ которымъ онъ и прибылъ вскорѣ потомъ въ Англію. Здѣсь онъ оставилъ военную службу и

нѣсколько лѣтъ былъ органистомъ въ Галифаксѣ, гдѣ онъ старался научить молодыхъ людей музыкѣ, а самъ учился различнымъ языкамъ. Въ 1766 г. онъ сдѣлался органистомъ въ знаменитой капеллѣ въ Батѣ и здѣсь же кажется онъ въ первый разъ обратилъ свое вниманіе на небо. Незнакомый съ математикой, онъ умѣлъ, какъ послѣ Юнгъ, собственными силами справиться съ трудностями, которыя представлялись ему, хотя онъ самъ впослѣдствіи часто жаловался, что не занимался этой наукой еще въ юности. Такъ какъ его астрономическія занятія принимали все большіе размѣры, то онъ захотѣлъ имѣть хорошій телескопъ; но такъ какъ къ счастью это было не по его средствамъ, то онъ рѣшился въ 1774 г. самъ сдѣлать себѣ телескопъ. Послѣ многихъ попытокъ онъ наконецъ устроилъ пятифутовый ньютоновскій телескопъ съ зеркаломъ. Его первая статья въ «Philos. Transact.» напечатана въ 1780 г., а въ слѣдующемъ году онъ уже объявилъ о сдѣланномъ имъ открытіи новой планеты, Урана. Вслѣдствіе этого открытія слава его быстро распространилась, и король Георгъ III взялъ его частнымъ астрономомъ съ 400 фунт. стерл. жалованья къ своему двору въ Слуфъ близь Виндзора, куда онъ тотчасъ же пригласилъ и свою сестру Каролину Гершель, усердно помогавшую ему при его астрономическихъ наблюденіяхъ. Вскорѣ потомъ онъ женился на Мери Пильтъ. Въ Слуфѣ онъ устроилъ обсерваторію и при пособіи отъ короля снабдилъ ее нужными инструментами. Важнѣйшими изъ этихъ инструментовъ были устроенные имъ самимъ телескопы съ 7, 10 и 20-футовымъ фокуснымъ разстояніемъ и съ зеркаломъ въ $1^1/_2$ фута, а потомъ съ 25-футовымъ разстояніемъ и съ зеркаломъ въ 2 фута въ діаметрѣ. Эти телескопы возбудили всеобщее удивленіе и несмотря на высокую цѣну скоро распространились по всей Европѣ, гдѣ каждый монархъ полагалъ свою гордость въ томъ, чтобы имѣть такой инструментъ изъ мастерской Гершеля. Но не довольствуясь тѣмъ, чтобы давать астрономамъ могучія средства для открытій, онъ самъ хотѣлъ дѣлать от-

крытія. Его старанія увѣнчались полнымъ успѣхомъ. Кромѣ уже упомянутаго открытія новой планеты 13 марта 1781 г., онъ открылъ еще своимъ 20-футовымъ телескопомъ, съ которымъ онъ дѣлалъ вообще большую часть своихъ наблюденій, двухъ новыхъ спутниковъ Сатурна и 6 спутниковъ Урана. Онъ первый увидѣлъ двойственность Сатурнова кольца и опредѣлилъ время обращенія его въ $10^1/_2$ часовъ. Главною его заслугой для астрономіи были продолжительныя и усердныя наблюденія надъ двойными звѣздами, его каталогъ туманныхъ пятенъ и звѣздныхъ кучъ. Всѣмъ, чтò мы знаемъ объ этихъ послѣднихъ удивительныхъ предметахъ, мы обязаны почти ему одному; такъ какъ до него ни одинъ астрономъ не отваживался вступать въ эту трудную область, гдѣ безъ отличнаго телескопа нельзя сдѣлать ни одного шага. Самый большой телескопъ Гершеля былъ его извѣстный 40-футовый телескопъ, котораго металлическое зеркало имѣло 4 фута въ діаметрѣ. Съ этимъ телескопомъ онъ могъ получать увеличеніе предметовъ до 7,000 въ діаметрѣ (Фраунгоферовскій рефракторъ на обсерваторіи въ Дерптѣ имѣетъ фокусное разстояніе въ $13^1/_2$ футовъ, діаметръ объектива $^3/_4$ фута, или 9 парижскихъ дюймовъ и наибольшее увеличеніе 600 въ діаметрѣ). Однако этотъ большой телескопъ недолго былъ въ исправности; потому что отлично отполированное зеркало во влажномъ вечернемъ воздухѣ окислилось и стало матовымъ. Большую часть своихъ открытій Гершель сдѣлалъ не съ этимъ большимъ телескопомъ, а съ другими, 12-футовымъ и 20-футовымъ.

Эти многочисленныя и въ высшей степени важныя открытія поставили его на такую степень славы, какой весьма рѣдко достигалъ человѣкъ, предоставленный только своимъ собственнымъ силамъ безъ содѣйствія благопріятныхъ внѣшнихъ обстоятельствъ. Вся Англія, даже весь образованный міръ удивлялись его превосходнымъ телескопамъ и его великимъ открытіямъ. Всѣ академіи Европы спорили о чести имѣть его своимъ членомъ. Королевскій университетъ въ Оксфордѣ, который такъ скупъ

на признаніе ученыхъ заслугъ, особенно иностранцевъ, далъ ему докторскую степень, а его покровитель Георгъ III въ 1816 г. собственноручно украсилъ грудь его орденомъ. Весь образованный міръ чтилъ его какъ отличнаго практическаго астронома и счастливаго открывателя неизвѣстныхъ дотолѣ тайнъ неба. Его друзья цѣнили въ немъ честнаго, прямаго человѣка. Онъ сохранялъ свѣтлое спокойствіе духа въ теченіе всей своей дѣятельной жизни, не возмущавшееся никакими болѣзнями, и умеръ 84 лѣтъ 25 августа 1820 г.

Его единственный сынъ, Джонъ Гершель, былъ наслѣдникомъ его значительнаго состоянія, его рукописей и инструментовъ и его высокаго таланта, который онъ доказалъ уже многочисленными и дѣльными работами объ астрономическихъ и физическихъ предметахъ. Онъ родился въ 1790 г. въ Лондонѣ и получилъ образованіе въ кэмбриджскомъ университетѣ. Своими наблюденіями надъ двойными звѣздами, надъ туманными пятнами, открытыми его отцемъ, своими открытіями на южномъ небѣ, которое онъ нѣсколько лѣтъ наблюдалъ на Мысѣ Доброй Надежды, также какъ своими многочисленными астрономическими и физическими сочиненіями, онъ пріобрѣлъ себѣ въ лѣтописяхъ науки имя и почетное мѣсто подлѣ своего великаго отца.

Хладни, Эрнстъ Фридрихъ (стр. 438), родился въ Виттенбергѣ 30 ноября 1756 г. Его предки происходили изъ Венгріи, откуда они были изгнаны въ 1676 г., какъ протестанты. Послѣ первоначальнаго суроваго воспитанія въ родительскомъ домѣ, онъ посланъ былъ въ княжескую школу въ Гриммѣ и впослѣдствіи изучалъ права въ Лейпцигѣ и Виттенбергѣ. Но по смерти своего отца, въ 1781 г., онъ безъ всякой надежды на пріобрѣтеніе средствъ къ содержанію обратился къ своимъ любимымъ естественнымъ наукамъ. Такъ какъ уже прежде онъ порядочно изучилъ музыку, то и теперь обратился главнымъ образомъ къ изученію акустики. Уже въ 1787 г. явились его первыя от-

крытія о теоріи звука. Въ 1790 г. онъ изобрѣлъ музыкальный инструментъ эвфонъ, который, вмѣстѣ съ его акустическими чтеніями, далъ ему средства объѣхать главнѣйшіе города Германіи. Въ 1802 г. онъ замѣнилъ извѣстную гармонику изобрѣтеннымъ имъ клавицилиндромъ, въ которомъ стеклянные цилиндры, двигавшіеся вокругъ своей оси, издавали звуки при помощи особой клавіатуры вмѣсто намоченныхъ пальцевъ, какъ дѣлалось прежде. Въ томъ же году явилась и его акустика. Съ своими двумя инструментами онъ объѣздилъ замѣчательнѣйшіе города Европы и въ Парижѣ былъ благосклонно принятъ Лапласомъ, Бертолетомъ и даже Наполеономъ, который поддерживалъ его очень дѣятельно. Здѣсь онъ издалъ въ 1809 г. свой «Traité d'Acoustique». Въ слѣдующемъ году объѣхалъ Италію и въ 1812 г. возвратился въ Виттенбергъ. Среди безпокойствъ военнаго времени, онъ неутомимо преслѣдовалъ свою цѣль и сдѣланные имъ опыты собралъ и издалъ въ особомъ сочиненіи: «Beiträge zur praktischen Akustik», Лейпцигъ 1821. Кромѣ акустики его занимала еще теорія такъ-называемыхъ метеорныхъ камней, по которой онъ еще въ 1794 г. издалъ небольшое сочиненіе: «Ueber der Ursprung der von Pallas gefundenen Eisenmassen»; и въ позднѣйшемъ сочиненіи («Ueber Feuermeteore», Вѣна 1819) онъ старался окончательно рѣшить вопросъ и показалъ, или по крайней мѣрѣ представилъ очень вѣроятнымъ, что причина этихъ явленій находится въ космическихъ, внѣ нашей атмосферы образовавшихся, тѣлахъ. 4 апрѣля 1827 г. онъ умеръ въ Бреславлѣ отъ удара. Онъ отличался изобрѣтательностью, остроуміемъ и добродушіемъ. Ни одинъ изъ нѣмецкихъ государей не предложилъ ему мѣста или ежегоднаго содержанія. Послѣднія 37 лѣтъ своей жизни, которыя онъ провелъ почти въ постоянныхъ путешествіяхъ, онъ жилъ доходами отъ своихъ изобрѣтеній и завѣщалъ значительную сумму кассѣ для бѣдныхъ своего роднаго города, а минералогическому кабинету въ Берлинѣ свое драгоцѣнное собраніе метеорныхъ камней.

Гей, Рене Жюстъ (стр. 493), родился 28 февраля 1743 г., въ департаментѣ Уазы. Отецъ его, бѣдный ткачъ, отдалъ его на воспитаніе въ монастырь, откуда взяла его мать и отправила въ Парижъ, гдѣ онъ долгое время самъ долженъ былъ содержать себя, занимая должность мальчика, прислуживающаго при богослуженіи. Онъ нѣсколько лѣтъ занимался ботаникой; но потомъ лекціи де-Бонтона обратили его къ минералогіи. Однажды на его глазахъ упалъ и разбился кусокъ полеваго шпата. Онъ подобралъ куски и замѣтилъ кристаллическія формы въ разломѣ ихъ. Это сильно заинтересовало его; онъ занялся этимъ предметомъ, разбивалъ нарочно многіе кристаллы изъ своей коллекціи и, продолжая трудиться на этомъ поприщѣ, сдѣлался основателемъ кристаллографіи. Когда въ 1781 г. Парижская академія предложила ему сообщить ей свои открытія, то онъ сдѣлалъ это въ формѣ устныхъ лекцій, слушателями которыхъ были Лапласъ, Лагранжъ, Фуркруа, Лавуазье и другіе. Въ 1783 г. онъ сдѣланъ былъ членомъ академіи, и его первыя работы появились въ Мемуарахъ этого учрежденія за 1788 г. и въ «Journal de Physique» отъ 1782 до 1786. Онъ, хотя былъ самымъ миролюбивѣйшимъ человѣкомъ, имѣлъ однако много противниковъ. Многіе весьма ошибочно утверждали, будто Бергманъ въ Швеціи сдѣлалъ такія открытія уже за 8 лѣтъ до этого; а Роме Делиль, долгое время занимавшійся кристаллами и не открывшій ничего значительнаго, далъ ему насмѣшливое прозвище кристаллокласта. Но все это нисколько не дѣйствовало на нашего ученаго и онъ спокойно продолжалъ идти далѣе по пути своихъ открытій. Даже революція не могла совратить его съ этого пути, хотя онъ и долженъ былъ провести нѣсколько времени въ тюрьмѣ за то, что не хотѣлъ дать присяги, которой требовали отъ духовенства. Въ послѣдніе годы своей жизни, вслѣдствіе нерасположенія къ нему министра, онъ потерялъ свой пенсіонъ и былъ близокъ къ нуждѣ. Онъ удалился въ свой родной городокъ и жилъ тамъ очень просто и скромно. Онъ умеръ 79 лѣтъ 3 іюня 1822 г., не оставивъ своему семейству

ничего кромѣ своей славы и коллекціи кристалловъ. Главнѣйшія его сочиненія суть слѣдующія: «Traité de minéralogie» 4 тома въ 8°, Парижъ 1821 и 1822; «Traité des caractères des pierres précieuses», Парижъ 1817; «Traité de physique», Парижъ 1804, въ 2-хъ томахъ; «Théorie de la structure des cristaux», Парижъ 1784; «Tableau des resultats de la cristallographie etc.», Парижъ 1809; «Traité de la cristallographie», Парижъ 1822, въ двухъ томахъ съ атласомъ. Наполеонъ, который очень цѣнилъ его, сдѣлалъ его кавалеромъ почетнаго легіона, профессоромъ минералогіи въ Jardin des plantes и каноникомъ парижской митрополіи.

Малюсъ, Этьенъ-Луи (стр. 493), родился 23 іюня 1775 г. въ Парижѣ. Отъ своего отца, который былъ trésorier de France, онъ получилъ хорошее классическое воспитаніе, такъ что даже въ послѣдніе дни своей жизни могъ прочитать большія выдержки изъ Иліады. До 17 лѣтъ онъ занимался изящной литературой и въ томъ же году издалъ свою трагедію «Смерть Катона». Но затѣмъ онъ обратился къ математикѣ, и въ 1793 г. поступилъ въ инженерную школу, откуда вышелъ офицеромъ въ армію. Такъ какъ онъ здѣсь былъ подозрителенъ для республиканцевъ, то онъ оставилъ свой корпусъ и поступилъ простымъ солдатомъ въ сѣверную армію. Здѣсь его начальникъ Леперъ узналъ математическій талантъ молодаго человѣка и отправилъ его въ болѣе подходящее для него мѣсто, въ политехническій институтъ въ Парижѣ, гдѣ онъ вскорѣ послѣ этого, въ отсутствіе Монжа, читалъ аналитическую геометрію. Въ 1797 г. онъ былъ въ Мецѣ профессоромъ математики въ военномъ институтѣ этого города, гдѣ познакомился съ Вильгельминою Кохъ, дочерью канцлера Гиссенскаго университета, и женился на ней. Въ 1798 г. онъ отправился съ экспедиціей Бонапарте въ Египетъ, гдѣ участвовалъ въ сраженіи при пирамидахъ, при Геліополисѣ, въ осадѣ Эларита и Яѳы, и здѣсь же заразился моровой язвой. Какъ членъ института

въ Каиро, онъ 14 октября 1801 г. возвратился во Францію, истощенный трудами и болѣзнями. Въ послѣдніе годы своей жизни онъ всецѣло посвятилъ себя математикѣ и въ особенности теоретической оптикѣ, изслѣдованіямъ о двойномъ преломленіи и поляризаціи свѣта; и писалъ объ этихъ предметахъ прекрасныя статьи въ Мемуарахъ парижской академіи. Онъ открылъ поляризацію свѣта вслѣдствіе отраженія, что имѣло большое вліяніе на развитіе оптики. Онъ былъ членомъ французскаго Института, кавалеромъ большаго креста почетнаго легіона, директоромъ фортификаціоннаго вѣдомства и начальникомъ Политехнической Школы въ Парижѣ. Его необыкновенныя ученыя работы, сдѣланныя въ такое короткое время и при его болѣзненномъ тѣлѣ, возбудили всеобщее удивленіе и были причиною его преждевременной смерти. Послѣдніе два года своей жизни онъ работалъ почти только въ постелѣ, и умеръ 24 февраля 1812 г. Его жена, съ большимъ самоотверженіемъ ухаживавшая за нимъ во время его продолжительной болѣзни, сама заболѣла той же болѣзнью и послѣдовала за нимъ 18 августа 1813 г.

Юнгъ, Томасъ (стр. 555), род. 13 іюня 1773 г. въ Мильвертонѣ, въ графствѣ Сомерсетъ. Родители его были квакеры. Еще въ дѣтствѣ онъ обнаруживалъ большую любознательность и отличался рѣдкою памятью. Будучи 8 лѣтъ, онъ познакомился съ сосѣднимъ землемѣромъ, который пробудилъ въ немъ талантъ къ наблюденію и математикѣ. Съ 9 до 14 лѣтъ онъ изучалъ въ школѣ въ Комптонѣ латинскій, греческій, еврейскій и арабскій языки вмѣстѣ съ французскимъ и итальянскимъ, и въ то же время усердно изучалъ ботанику. На 14 году легочная болѣзнь грозила ему смертью. Вскорѣ онъ сдѣланъ былъ воспитателемъ двухъ молодыхъ Берклеевъ Юнгсбюри. Его первой большой ученой работой было собраніе различныхъ системъ древнихъ греческихъ философовъ, котораго онъ впрочемъ никогда не издавалъ. Боркъ, Виндгамъ и герцогъ Ричмондскій, цѣнившіе его познанія

и таланты, предлагали ему весьма выгодную политическую карьеру, но Юнгъ, сознавая свои силы и свое внутреннее призваніе, предпочелъ трудную дорогу науки золотой цѣпи общественной жизни. Онъ посвятилъ себя медицинѣ въ надеждѣ пріобрѣтать ею необходимыя средства къ жизни. Въ 1793 г. онъ представилъ Королевскому Обществу въ Лондонѣ свое сочиненіе объ устройствѣ глаза, которое было помѣщено въ «Philosophical Transactions». Съ его воззрѣніями не соглашались и возражали противъ нихъ Рамсденъ и Эверардъ Гомпъ, и 20-лѣтній юноша скромно отступилъ передъ знаменитыми учеными людьми. Черезъ 7 лѣтъ послѣ этого Юнгъ съ окрѣпшей силой и обогащенный новыми познаніями повторилъ свои прежнія воззрѣнія, которыя теперь уже не встрѣтили противорѣчія. Онъ началъ свои медицинскія занятія въ Лондонѣ, а покончилъ ихъ въ Эдинбургѣ въ 1794 г. и затѣмъ отправился въ Геттингенъ, гдѣ онъ въ 1796 г. получилъ ученую степень и вмѣстѣ съ тѣмъ ближе познакомился съ нѣмецкимъ языкомъ и литературой. Возвратившись въ Англію, онъ сдѣланъ былъ учителемъ въ Кембриджѣ. Вскорѣ затѣмъ онъ получилъ по наслѣдству значительное состояніе, которое сдѣлало его независимымъ; и съ тѣхъ поръ онъ поселился въ Лондонѣ, гдѣ занимался медицинской практикой и получилъ мѣсто профессора естественныхъ наукъ въ Королевскомъ Институтѣ, которое впрочемъ въ 1804 г. оставилъ, чтобы исключительно предаться практической медицинѣ и своимъ любимымъ занятіямъ. Съ этихъ поръ онъ издалъ множество сочиненій о различныхъ предметахъ, особенно по физикѣ и математикѣ. Большая часть его небольшихъ сочиненій изданы безъименно; потому что въ Англіи не любятъ, чтобы врачи занимались еще какими-нибудь другими предметами, кромѣ своего искусства. Между лондонскими врачами онъ занималъ невысокое мѣсто, потому что его считали слишкомъ ученымъ и слишкомъ нерѣшительнымъ въ выборѣ средствъ у кровати больнаго. Къ этому же времени относится его очень дѣльное сочиненіе «Syllabus of a cour-

se of Natural and Experimental Philosophy», Лондонъ 1807. 2 тома. Когда Араго и Гей-Люссакъ въ 1816 г. посѣтили Юнга въ Лондонѣ, то разсказали ему о весьма важномъ мемуарѣ Френеля о дифракціи свѣта, представленномъ въ 1815 г. французскому Институту, и не мало были удивлены, когда узнали, что Юнгъ уже 9 лѣтъ прежде сдѣлалъ эти открытія. Во время завязавшагося по этому поводу спора, жена Юнга, почти молча слушавшая разговоръ, вышла и вскорѣ затѣмъ возвратилась съ большимъ томомъ въ рукахъ. Это былъ первый томъ названнаго выше сочиненія. Она положила его на столъ, развернула не сказавъ ни слова на 787 стр. и указала гостямъ пальцемъ на фигуру, въ которой нагляднымъ образомъ представлены были кривыя свѣтовыя полосы дифракціи свѣта и объяснены истинной теоріей. — Въ 1818 г. онъ сдѣланъ былъ секретаремъ Бюро долготъ и Королевскаго Общества, и это мѣсто онъ занималъ всю остальную жизнь. Теперь онъ отказался отъ практической медицины, чтобы вполнѣ предаться многосложнымъ занятіямъ по своей должности. Къ числу этихъ занятій относилось изданіе «Nautical Almanac», которымъ онъ завѣдывалъ съ 1819 до 1829 г. Съ этого времени почти въ каждомъ томѣ «Journals of the R. Institution» были его статьи о важнѣйшихъ проблемахъ навтики; кромѣ того имъ изданы были «Elementary illustrations of the Celestial Mechanics of Laplace» (Лондонъ, 1821) и многія другія сочиненія, свидѣтельствовавшія, что онъ не смотрѣлъ на свое мѣсто какъ на синекуру. Изданіе «Nautical Almanac» причиняло ему столько непріятностей, что онѣ вѣроятно ускорили его смерть. До сихъ поръ это изданіе было справочной книгой, назначенной для моряковъ; но теперь нѣкоторыя партіи стали требовать, чтобы онъ былъ полной астрономической ефемеридой. Бюро долготъ не соглашалось на такое требованіе, и вслѣдствіе этого поднялся сильный споръ, въ которомъ приняли участіе всѣ газеты и журналы. Приверженцевъ прежняго состава называли тупоумными беотійцами, а самый альманахъ пятномъ націи; и какъ

только находилась какая-нибудь опечатка, почти неизбѣжная въ сочиненіи, состоящемъ изъ такого множества чиселъ, тотчасъ же виги и тори поднимали ужасный крикъ о неизбѣжной гибели всѣхъ англійскихъ морскихъ судовъ. Хотя Юнгъ, подобно большей части его ученыхъ земляковъ, и былъ привыченъ къ войнѣ въ родѣ той, какую онъ выдержалъ изъ-за своихъ оптическихъ открытій съ искуснѣйшимъ противникомъ, однако нелѣпые крики надоѣли ему и, чтобы избавиться отъ нихъ, онъ обратился къ своему прежнему любимому занятію — къ разбору и чтенію египетскихъ іероглифовъ; о чемъ будетъ сказано дальше въ особомъ примѣчаніи. — Но его уже сильно ослабѣвшія силы начали еще быстрѣе ослабѣвать въ началѣ 1828 года. Для поправленія здоровья онъ отправился лѣтомъ этого же года въ Женеву. Новые труды и новыя непріятности, которымъ онъ подвергся по возвращеніи въ Англію, истощили его еще болѣе, и онъ умеръ 10 мая 1829 г. на 56 году. Онъ былъ погребенъ въ деревнѣ Фарнборо въ фамильномъ склепѣ. Юнгъ отличался даже между лучшими изъ своихъ соотечественниковъ изобрѣтательностью и многосторонней ученостью, также какъ и неутомимою дѣятельностью, и при этомъ обладалъ еще и другими высокими умственными и тѣлесными дарованіями. Онъ былъ основательный знатокъ музыки и бѣгло игралъ почти на всѣхъ инструментахъ; онъ былъ отличный живописецъ и искусный наѣздникъ, такъ что могъ состязаться даже съ Франкони и другими знаменитостями въ этомъ родѣ; ловкій свѣтскій человѣкъ, несмотря на свои многочисленные труды и занятія, ежедневно посѣщавшій блестящіе кружки столицы и умѣвшій держать себя въ нихъ свободно и непринужденно. Біографическія свѣдѣнія объ немъ можно найти въ сочиненіи «Memoirs of the Life of Thomas Young», Лондонъ, 1831. Полный списокъ его сочиненій находится въ «Quarterly Journal of science, literature and arts», 1829, II. Въ «Quarterly Review» помѣщаемы были многія интересныя его статьи, напр. объ ученіи о цвѣтахъ Гете и его ученая

рецензія на «Митридата», книгу Аделунга, которая вѣроятно и навела его на мысль заняться изслѣдованіями объ іероглифахъ.

Араго, Доминикъ Франсуа (стр. 574), родился въ Эстажелѣ въ Перпиньянѣ 28 февраля 1786. Уже на 18 г. онъ сдѣланъ былъ профессоромъ въ Политехнической Школѣ въ Парижѣ, а въ слѣдующемъ году избранъ былъ секретаремъ Bureau des longitudes. Вмѣстѣ съ Біо онъ продолжилъ начатыя Деламбромъ и Мешеномъ измѣренія меридіана во Франціи до испанскаго острова Форментеры, гдѣ онъ въ 1806 г., по случаю вступленія въ Испанію французскихъ войскъ, былъ взятъ въ плѣнъ испанскими властями. Когда онъ, получивъ свободу, возвращался моремъ во Францію, на дорогѣ его захватили морскіе разбойники и отвезли въ Алжиръ, откуда онъ освобожденъ былъ по ходатайству французскаго консула только въ 1809 г.. Упомянутое продолженіе измѣренія меридіана или основанія метрической системы по выраженію Деламбра было описано имъ вмѣстѣ съ Біо въ сочиненіи подъ заглавіемъ «Recueil d'observations en Espagne». Съ 1816 г. онъ занимался преимущественно физическими науками, особенно теоріей свѣта и гальванизма; и въ обоихъ этихъ отдѣлахъ наука обязана ему самыми интересными открытіями. Его статьи по астрономіи и физикѣ въ «Annuaire presenté au Roi» отличаются остроуміемъ и живою ясностью популярнаго изложенія. Съ 1830 г., онъ, какъ членъ палаты депутатовъ, принадлежавшій къ лѣвой сторонѣ, принималъ дѣятельное участіе въ политическихъ и общественныхъ дѣлахъ.

Брумъ, Генри (стр. 516), баронъ, родился 1779 г. въ Эдинбургѣ, гдѣ получилъ первоначальное научное образованіе подъ руководствомъ великаго историка Робертсона, дяди его матери. На 15 году своей жизни онъ поступилъ въ Эдинбургскій университетъ и вскорѣ послѣ этого написалъ свой опытъ о скорости свѣта, получившій мѣсто въ

«Philos. Transactions». Въ тоже время и съ одинаковымъ усердіемъ онъ посвящалъ себя математикѣ, изученію права и греческихъ и римскихъ классиковъ, въ особенности же ораторовъ. Въ 1804 г. онъ явился адвокатомъ въ шотландскомъ судѣ и вскорѣ затѣмъ сдѣлался лучшимъ сотрудникомъ знаменитаго «Edinburgh Review». Въ 1810 г. онъ вступилъ въ парламентъ, гдѣ съ свойственною ему энергіею объявилъ себя противъ торговли невольниками и въ пользу улучшенія народнаго образованія въ Англіи. Въ 1820 г. онъ защищалъ передъ парламентомъ королеву Шарлотту въ знаменитомъ ея процессѣ; въ томъ же году онъ основалъ въ Лондонѣ первую школу для малолѣтнихъ, также какъ и заведеніе для образованія ремесленниковъ (Mechanics institutions). Свои взгляды на народное воспитаніе онъ изложилъ въ превосходномъ сочиненіи: «Practical observations upon the Education of the People», Лондонъ, 1825, которое разошлось въ короткое время въ количествѣ 50,000 экземпляровъ. Точно также онъ былъ однимъ изъ первыхъ и ревностныхъ основателей новыхъ народныхъ изданій («Penny-magazins» и друг.) и даже основателемъ новаго Лондонскаго университета. Въ 1830 г. онъ былъ избранъ государственнымъ канцлеромъ всей Англіи, и тогда онъ тотчасъ уничтожилъ множество злоупотребленій и въ тоже время далъ славное доказательство своего безкорыстія, тѣмъ, что вслѣдствіе новыхъ учрежденій, его собственное годовое содержаніе было уменьшено на 7,000 фунт. стерл. Въ своихъ сочиненіяхъ и еще болѣе въ своихъ публичныхъ рѣчахъ онъ отличался богатствомъ ума и мѣткимъ, иногда колкимъ остроуміемъ.

Френель, Огюстенъ Жанъ (стр. 604), родился 10 мая 1787 г. въ Вролье, въ департаментѣ Эры. Его отецъ, Жакобъ Френель, былъ архитекторомъ и занимался предпріятіями по части публичныхъ работъ. Въ 1794 г., чтобы укрыться отъ бурь революціи, онъ съ своимъ семействомъ удалился въ свое небольшое помѣстье близъ Ка-

эины, гдѣ слѣдующія 7 лѣтъ исключительно посвятилъ воспитанію своихъ дѣтей. Успѣхамъ Огюстена много препятствовали его дѣтскія болѣзни: 8 лѣтъ онъ едва умѣлъ читать и изученіе латинскаго языка давалось ему весьма трудно. Онъ съ трудомъ понималъ даваемые ему уроки и его память была очень слаба. Хотя учителя были недовольны имъ, однакожъ въ играхъ съ товарищами онъ обнаруживалъ находчивость и изобрѣтательность, такъ что они въ шутку прозвали его геніемъ. На 13 году онъ поступилъ въ центральную школу въ Каэнѣ, гдѣ у Кено онъ учился математикѣ, а у Ларивьера логикѣ и философіи. На 16 году онъ поступилъ въ Политехническую Школу въ Парижѣ, гдѣ несмотря на свою болѣзненность успѣлъ занять первое мѣсто между товарищами. По выходѣ изъ этого заведенія онъ сдѣланъ былъ инженеромъ въ Вандеѣ, гдѣ своимъ талантомъ и усердіемъ успѣлъ пріобрѣсти себѣ всеобщее уваженіе и гдѣ онъ жилъ счастливо и въ довольствѣ до 1815 г. Видя въ возвращеніи Бурбоновъ и въ пожалованной ими хартіи зарю новаго счастія для своего отечества, онъ поступилъ на службу въ королевскую армію, высланную противъ возвратившагося съ Эльбы Наполеона. Но по своему слабому здоровью онъ черезъ нѣсколько недѣль отсталъ отъ арміи и подвергся оскорбленіямъ черни, всегда слѣдовавшей за побѣдителемъ. Это измѣнило его намѣренія. Не довѣряя болѣе ни людямъ, ни счастію своего отечества, онъ удалился въ Нормандію, чтобы тамъ въ уединеніи всецѣло предаться наукамъ, и въ особенности оптикѣ, которою онъ еще прежде любилъ заниматься въ свободное время. Явленія диффракціи свѣта, которыя онъ старался объяснить болѣе удовлетворительнымъ способомъ, привели его къ волнообразной теоріи, которую онъ, разъ познакомившись съ ея внутреннимъ богатствомъ, старался развивать и совершенствовать далѣе, причемъ ему были совершенно неизвѣстны сдѣланные за нѣсколько лѣтъ до этого подобные же опыты Юнга въ Англіи. Свое первое сочиненіе о диффракціи онъ представилъ французскому Институту 23 ок-

тября 1815 г. Въ слѣдующемъ году оно появилось въ «Annales de Physique et de Chimie». Вслѣдствіе этого парижская академія предложила на премію вопросъ объ этомъ же предметѣ; и новая работа Френеля по этому вопросу получила премію академіи. Съ тѣхъ поръ у него завязалась тѣсная дружба съ Араго и оба они сообща преслѣдовали одну цѣль. Френель снова получилъ свое прежнее мѣсто инженера и былъ посланъ въ департаментъ Майены. Здѣсь его стѣсняли совершенно несвойственныя ему работы и непріятности всякаго рода, пока наконецъ начальникъ его, генералъ-директоръ мостовъ, дорогъ и минъ, Бекей, понявшій его талантъ и его истинное назначеніе, не далъ ему другаго мѣста въ Парижѣ, гдѣ онъ при небольшихъ служебныхъ занятіяхъ могъ посвятить себя преимущественно наукѣ. Съ этого времени, начинается его настоящая научная дѣятельность. Его главнѣйшія открытія по части оптики изложены въ текстѣ и поэтому здѣсь объ нихъ нечего повторять. Тамъ же сказано было и нѣсколько словъ объ оппозиціи, какую встрѣтили эти открытія. Прежде всего завязался споръ между нимъ и Пуассономъ, получившій гласность въ «Annales de Physique et de Chimie» 1823 г. Лапласъ до конца оставался отъявленнымъ противникомъ волнообразной теоріи преимущественно на томъ основаніи, какъ онъ самъ говоритъ, что она не удобна для аналитической разработки ея. На это Френель возразилъ: «Ужели же природу могутъ останавливать трудности подобнаго рода?» Но несмотря на все это онъ въ 1823 г. выбранъ былъ членомъ парижской академіи, а два года спустя — членомъ лондонскаго Королевскаго Общества.— Упомянутый выше Бекей назначилъ его еще въ 1819 г. во вновь составленную коммиссію для устройства маяковъ. Френель далъ этому важному освѣтительному аппарату новый видъ, замѣнивъ прежде употреблявшіяся параболическія металлическія зеркала системою подвижныхъ стеклянныхъ чечевицъ. Его первый большой аппаратъ этого рода былъ устроенъ на башнѣ Кордонанъ въ устьѣ Га-

ронны, гдѣ необыкновенное дѣйствіе его возбудило всеобщее удивленіе. Съ тѣхъ поръ подобныя машины были устроены въ главнѣйшихъ гаваняхъ Франціи и даже Англіи. Въ 1824 г. онъ былъ сдѣланъ секретаремъ коммиссіи о маякахъ и инспекторомъ всѣхъ подобныхъ зданій на берегахъ Франціи, и въ томъ же году получилъ орденъ почетнаго легіона. Еще за три года до этого онъ получилъ почетное и доходное мѣсто экзаменатора по физикѣ и геометріи въ Политехнической Школѣ. Его многочисленные усиленные труды были причиною того, что у него съ 1823 г. начался геморой, повлекшій за собой грудную болѣзнь, кончившуюся только съ его смертью. Онъ умеръ 14 іюля 1827 г. на рукахъ своей матери. Араго говорилъ прощальную рѣчь на гробѣ своего друга. — Его сочиненія не собраны вмѣстѣ, но разсѣяны въ мемуарахъ академіи и другихъ ученыхъ журналахъ. О двойномъ преломленіи, диффракціи, интерференціи и поляризаціи свѣта, смотри въ «Annales de physique et de Chimie», за 1816, 1817, 1818, 1819, 1820, 1821, 1822, 1823 и 1825 г.; въ «Bulletin de la societé philomatique» 1822, 1823 и 1824 г.; въ «Supplément à la traduction de la Chimie par Thompson» Рифо и въ «Mémoires de l'Academie des Sciences» vol. V и VII. Его мемуаръ о маякахъ былъ напечатанъ отдѣльно въ 1822 г. Многія изъ оставшихся послѣ него бумагъ были напечатаны Араго въ парижскихъ журналахъ.

(Стр. 609). Окончательное объясненіе египетскихъ іероглифовъ принадлежитъ къ прекраснѣйшимъ открытіямъ нашего вѣка.—По прежнему общепринятому мнѣнію этотъ древній способъ писанія есть собственно символическое или образное письмо, потому что большая часть употреблявшихся въ немъ знаковъ, какъ-то птицы, змѣи, львы, растенія и т. под., не могутъ быть только отдѣльными буквами. Это мнѣніе было высказано Горъ-Аполлономъ, или Горусомъ Аполлономъ, сочиненіе котораго на греческомъ языкѣ относится къ первымъ столѣтіямъ нашего лѣтосчисленія (новѣйшее изданіе его сдѣлано Леманомъ,

Амстердамъ 1834). Онъ сообщаетъ намъ значеніе нѣкоторыхъ изъ этихъ символовъ. Такъ напр. птица кобецъ, по его мнѣнію, означаетъ душу, ибисъ — сердце, муравей — мудрость, петля—любовь и т. д. За нимъ слѣдовалъ Аѳанасій Кирхеръ (род. 1601, ум. 1680), одинъ изъ знаменитыхъ всезнаекъ своего времени, какъ свидѣтельствуетъ объ этомъ его «Ars magna lucis et umbrae» въ двухъ большихъ томахъ, «Musurgia universalis» въ двухъ такихъ же томахъ, «Oedipus aegyptiacus» въ четырехъ, «Mundus subterraneus» въ двухъ, его «China illustrata», его «Polygraphia» и его «Latium» въ одномъ большомъ томѣ. Онъ вычиталъ изъ египетскихъ іероглиѳовъ свою, имъ самимъ придуманную демонологію. Напротивъ Плюшъ (см. его «Histoire du ciel») находилъ въ нихъ метеорологическія и календарныя замѣтки; авторъ сочиненія «De l'étude des hieroglyphes» (Парижъ 1812) воображалъ, что открылъ въ нихъ псалмы Давида и прочее въ этомъ родѣ. Въ такомъ положеніи оставалось дѣло, пока Бруссаръ, французскій офицеръ египетской экспедиціи при Бонапартѣ, не нашелъ въ 1799 г. въ развалинахъ Розетты каменную плиту съ тремя различными надписями. Одна изъ этихъ надписей на греческомъ языкѣ гласила, что надпись на этомъ памятникѣ сдѣлана на трехъ языкахъ. Бруссаръ передалъ плиту въ институтъ въ Каирѣ, откуда она, послѣ того какъ французы должны были очистить Египетъ, передана была въ Британскій Музей. Нѣсколько изображеній этой плиты попали и въ Парижъ, гдѣ ими занялся прежде всего Сильвестръ-де-Саси въ 1802 г. Онъ нашелъ, что вторая изъ трехъ надписей сдѣлана письмомъ, похожимъ на нашъ буквенный способъ письма; и это мнѣніе еще далѣе было развито шведскимъ ученымъ Акербладомъ. О третьей же надписи, которая сдѣлана была собственно іероглиѳическимъ письмомъ, эти ученые не высказали никакихъ мнѣній. Надпись говорила, что королю Птолемею Епиѳану, въ 9 г. его правленія (такимъ образомъ около 200 лѣтъ до Р. Х.), египетскіе жрецы оказали нѣкоторыя почести. Томасъ Юнгъ въ 1814 г. за-

нялся этимъ предметомъ (въ «Museum Criticum» 1815 № 6 и 1816 № 7 и въ «Encyclopoedia Britannica» статья «Egypt»); и представилъ и до сихъ поръ не имѣющій равнаго себѣ, вѣроятный переводъ второй надписи, въ которой онъ видѣлъ буквенное письмо древняго египетскаго народнаго языка, весьма похожаго на нынѣшній коптскій. Кромѣ того онъ нашелъ, что въ третьей, или іероглифической надписи обведенные кругообразными кривыми линіями знаки собственныхъ именъ (Птолемей, Александръ и проч.), соотвѣтствуютъ греческой надписи и составляютъ также настоящія буквы,—замѣчаніе, которое еще въ 1766 г. сдѣлалъ Де-Гинь. — Еще далѣе былъ подвинутъ этотъ предметъ съ 1819 г. остроуміемъ Шампольона, профессора исторіи въ Греноблѣ. См. его «Lettres à Mr. Dacier», Парижъ 1822, и его «Précis du système hieroglyphique», Парижъ 1824, второе изданіе 1828. Онъ нашелъ, что обведенные чертою знаки іероглифической надписи суть изображенія тѣхъ предметовъ, названія которыхъ въ египетскомъ языкѣ начинаются съ той буквы, какую нужно было написать; такъ что въ русскомъ языкѣ напр. изображеніе льва обозначало бы букву *л*, а изображеніе жука— букву *ж*. Вся система, придуманная Шампольономъ, въ высшей степени проста, однородна во всѣхъ частяхъ и не оставляетъ ни малѣйшаго сомнѣнія въ ея вѣрности, чего нельзя сказать о первыхъ, впрочемъ весьма остроумныхъ опытахъ Юнга. Посредствомъ алфавита Шампольона былъ прочитанъ не только памятникъ, найденный въ Розеттѣ, но и многія другія надписи, что̀ онъ самъ и сдѣлалъ, напр. надписи на обелискѣ въ Филахъ, на храмѣ въ Карнакѣ, на эклиптикѣ въ Дендерахѣ и пр. Въ 1826 г. онъ назначенъ былъ директоромъ египетскаго музея въ Парижѣ, и послѣ того въ 1828 г. на общественный счетъ сдѣлалъ ученое путешествіе въ Египетъ. Онъ возвратился оттуда съ многочисленными, точно скопированными надписями, найденными на египетскихъ памятникахъ. Онъ умеръ отъ холеры 4 марта 1832 г. Онъ собирался уже печатать свои многочисленныя рукописи, составляющія

больше 2,000 листовъ, и свое грамматическое и лексикографическое сочиненіе о іероглифахъ, какъ ранняя смерть внезапно похитила его у науки. «Egyptian Dictionary» Юнга также явился только черезъ два года послѣ его смерти.

У Китайцевъ также существуетъ способъ письма іероглифическій или символическій; именно они своими письменными знаками выражаютъ не тоны или артикуляціи тоновъ, какъ дѣлаемъ мы во всѣхъ нашихъ фонетическихъ азбукахъ, но понятія. Хотя этотъ символическій способъ письма есть самый древній способъ и принадлежитъ дѣтскому состоянію искусства, однако онъ имѣетъ одно и притомъ весьма существенное преимущество надъ всѣми фонетическими или алфавитными письменами въ томъ, что онъ несравненно общѣе и въ тоже время можетъ быть общепонятнымъ для различныхъ народовъ. Слово «дерево» напр. въ китайскомъ языкѣ обозначается знакомъ, который всегда останется неизмѣннымъ, хотя бы китайскій языкъ современемъ измѣнился совершенно. Это не будетъ казаться намъ страннымъ, если мы вспомнимъ, что наши цифры суть совершенно такіе же знаки, которые съ перваго же раза всякій понимаетъ въ Германіи, Франціи, Испаніи и т. д. Два отвѣсно поставленные одинъ надъ другимъ круга и касающіеся въ одной точкѣ обозначаютъ, какъ принято всею Европою, понятіе восемь разъ взятой единицы и выражаютъ число 8. Этотъ знакъ французъ называетъ huit, нѣмецъ — acht, англичанинъ — eight, испанецъ — ocho, русскій — восемь и т. д. Но несмотря на эти различные тоны этотъ знакъ для всѣхъ безразлично выражаетъ одинаковое понятіе. Еслибы такимъ образомъ идеографическіе знаки Китайцевъ были также общеприняты у насъ какъ арабскія цифры, то каждый на своемъ собственномъ родномъ языкѣ могъ бы читать сочиненія, предложенныя ему на этомъ всеобщемъ языкѣ, хотя бы онъ не понималъ ни одного слова, ни одного звука въ языкѣ той страны, въ которой написана книга. Хотя такой языкъ съ его множествомъ идеографическихъ знаковъ

и труднѣе было бы изучить, чѣмъ какой-нибудь изъ нашихъ фонетическихъ алфавитныхъ языковъ, но за то имъ гораздо легче можно было бы овладѣть и гораздо легче удержать навсегда, чѣмъ такое множество древнихъ и новыхъ языковъ, на изученіе которыхъ мы тратимъ большую часть золотыхъ юношескихъ лѣтъ, которыя мы съ большею пользою могли бы посвятить на пріобрѣтеніе болѣе реальныхъ знаній; потому что языки сами по себѣ составляютъ только средства для знанія. Весьма невѣрно также и то общераспространенное мнѣніе, будто бы ученый Китаецъ употребляетъ всю свою жизнь только на то, чтобы научиться читать. Абель Ремюза, величайшій лингвистъ своего времени, своимъ собственнымъ примѣромъ и примѣромъ многихъ своихъ учениковъ доказалъ, что китайскій языкъ можно легко и хорошо изучить также, какъ и всякій другой языкъ. Также невѣрно наконецъ и то мнѣніе, что идеографическій способъ письма годится только для выраженія самыхъ простѣйшихъ и обыкновеннѣйшихъ понятій. Извѣстный китайскій романъ Ю-Кіао-Ли (двѣ двоюродныя сестры) доказываетъ, что этимъ письмомъ можно выражать самыя тонкія и сложныя идеи и самыя возвышенныя отвлеченія. Оно только, какъ очевидно, не можетъ выражать собственныхъ именъ и потому китайцы и выражаютъ ихъ фонетическими символами, похожими на наши буквы; точно такъ какъ въ іероглифическихъ надписяхъ древнихъ Египтянъ собственныя имена обозначались вышеупомянутыми знаками, обведенными кривыми линіями.



